

**Untersuchungen zum Übergang
von Blei und Blei-210
aus Futtermitteln in Rinderknochen**

Bertram Glabasnia

1978

Aus dem Institut für Hygiene und Technologie
der Lebensmittel tierischen Ursprungs
des Fachbereichs Tiermedizin der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. Dr. h. c. L. Kotter

Arbeit angefertigt unter Leitung von Prof. Dr. W. Kreuzer

**Untersuchungen zum Übergang
von Blei und Blei-210
aus Futtermitteln in Rinderknochen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
des Fachbereichs Tiermedizin
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Bertram Glabasnia
aus Neustadt am Kulm

München 1978

Gedruckt mit der Genehmigung des Fachbereichs
Tiermedizin der Universität
München

Dekan: Prof. Dr. H. Kräußlich

Referent: Prof. Dr. W. Kreuzer

Korreferent: Prof. Dr. M. Ruf

Tag der Promotion: 24. Februar 1978



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. <u>EINLEITUNG</u>	1
2. <u>SCHRIFTTUM</u> (Literaturübersicht)	2
2.1. Herkunft radioaktiver Bleiisotope, insbesondere von Pb-210	2
2.2. Blei in Böden	7
2.3. Aufnahme von Blei durch die Pflanzen	7
2.4. Stoffwechsel des Bleis im Organismus	9
2.5. Biochemische Wirkung von Blei(II)Ver- bindungen	16
2.6. Vergiftungsmöglichkeiten der Rinder (Ätiologie)	17
2.7. Symptomatik der Bleivergiftung	18
2.7.1 Chronische Bleiintoxikation	18
2.7.2. Perakute und akute Bleiintoxikation	19
2.7.3. Kumulative Bleiintoxikation	20
3. <u>MATERIALIEN UND METHODIK</u>	22
3.1. Raum Kulmbach (wenig oder nicht blei- belastet)	22
3.2. Raum Mechernich (stark bleibelastet)	27
3.3. Probenaufbereitung zur Bestimmung des Gehaltes an Blei und Blei-210	33
3.4. Bestimmung von Blei in biologischen Materialien	34
3.5. Bestimmung von Blei durch Atom- absorptionsspektrometrie	34
3.5.1. Bleibestimmung mit der Flamme	35
3.5.2. Bleibestimmung mit der Injektionsmethode	35

	Seite
3.5.3. Bleibestimmung mit der Massmann-Küvette	36
3.6. Bestimmung von Blei-210 mit Hilfe des Low-Level- β -Counters	39
3.6.1. Radiochemische Reinigung	39
3.6.2. Eichung des Low-Level- β -Counters	42
3.7. Bestimmung des Calciumgehaltes	44
4. <u>ERGEBNISSE</u>	45
4.1. Untersuchungen der Böden	45
4.2. Untersuchungen der Futtermittel	46
4.3. Untersuchungen von Rinderknochen	55
4.4. Ermittlung der Gesamtfutterraufnahme	68
4.5. Knochenanteil bei Rindern verschiedener Altersgruppen	76
4.6. Berechnung des Carry-over von Blei und Blei-210 beim Übergang vom Futter in Rinderknochen	77
4.7. Abschätzung der Halbwertszeiten für Blei und Blei-210 in Rinderknochen	82
5. <u>DISKUSSION DER ERGEBNISSE</u>	86
5.1. Blei im Boden	86
5.2. Blei in Futtermitteln	87
5.3. Berechnung der Blei- und Blei-210-Auf- nahme der Rinder mit Futtermittelrationen	93
5.4. Bleikontamination von Rinderschwanz- wirbelknochen	96
5.5. Veränderungen der spezifischen Blei-210- Aktivitäten in Biocyclen	99
6. <u>ZUSAMMENFASSUNG (SUMMARY)</u>	102
7. <u>LITERATUR</u>	109
8. <u>ABKÜRZUNGEN</u>	130
9. <u>LEBENS LAUF</u>	131

1. EINLEITUNG

Zur Beurteilung der Belastung landwirtschaftlicher Nutztiere durch Blei (Pb) ist die Kenntnis über die Herkunft der Kontamination von großer Bedeutung, um zweckentsprechende Maßnahmen ergreifen zu können. Im Hinblick auf den Gehalt an Blei-210 (Pb-210) sind in hüttenmäßig gewonnenem Pb Unterschiede in der Zusammensetzung, wie sie natürlich vorkommende Pb-Erze aufweisen, zu erwarten, da durch den Gewinnungsprozeß die Mutternuklide der Zerfallsreihe, aus dem das Pb-210 stammt, abgetrennt werden. Für die spezifischen Pb-210-Aktivitäten (pCi Pb-210/g Pb) von metallischem Pb werden Werte von ca. 2 bis 67 angegeben; daraus resultiert im Mittel ein Wert von etwa 22 pCi Pb-210/g Pb (JAWOROWSKI 1969). Bedeutend höher sind die Angaben über spezifische Pb-210-Aktivitäten in Rinderknochen als in verhüttetem Pb; entsprechende Werte für Futtermittel liegen anscheinend in der Literatur noch nicht vor. Die relativ hohen spezifischen Pb-210-Aktivitäten im tierischen Organismus sind im wesentlichen auf die größeren Gehalte an Pb-210 im Boden und im Futter zurückzuführen. Als zusätzliche Quelle für eine Pb-210-Aufnahme fungiert der radioaktive Zerfall des Edelgases Radon-222 (Rn-222) in der Luft.

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Frage, inwieweit bei Rindern beim Übergang von Pb aus dem Futter in den Knochen eine Änderung der spezifischen Pb-210-Aktivitäten in Abhängigkeit von der Höhe der Belastung durch den Pb-Gehalt der Futtermittel und dem Alter der Tiere erfolgt. Für die Untersuchungen wurden zwei stark unterschiedlich kontaminierte Gebiete, der Raum Kulmbach in

Oberfranken, als Beispiel für ein normales Areal und der Raum Mechernich in der Eifel mit bleischüssigen Böden als Exempel für ein stärker Pb-haltiges Gebiet, ausgewählt. Ziel der Untersuchungen war ferner, zu prüfen, ob aus der Höhe der spezifischen Pb-210-Aktivitäten im Skelett der Rinder ein Rückschluß auf die Herkunft ihrer Pb-Kontamination möglich ist.

2. SCHRIFTTUM

2.1. Herkunft radioaktiver Bleisotope, insbesondere von Pb-210

Aus den drei natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen der Thorium-, Protactinium- und Uranreihe entstehen als stabile Endprodukte Pb-208, Pb-207 und Pb-206. Ihre Bildung ist eine der Ursachen für die ständige Zunahme des Pb-Gehaltes in der Erdkruste. Es gibt noch ein viertes stabiles Pb-Isotop, Pb-204, für dessen Entstehung kein natürlicher Nuklearprozeß bekannt ist (RANKAMA 1956, JAWOROWSKI 1969). Die relative Häufigkeit der einzelnen Pb-Isotope zeigt Tab.1.

Tabelle 1: Relative Häufigkeit der stabilen Isotope des Bleis (nach Angaben bei DOCUMENTA GEIGY 1960)

Isotope	relative Häufigkeit (%)
Pb-204	1,5
Pb-206	23,6
Pb-207	22,6
Pb-208	52,3

In den drei natürlichen Zerfallsreihen kommen vier radioaktive Pb-Isotope vor; es sind dies Pb-212 (ThD) in der Thorium-, Pb-211 (AcB) in der Protactinium- und Pb-214 (RaB) sowie Pb-210 (RaD) in der Uranzerfallsreihe. Unter diesen vier Isotopen ist Pb-210 mit der physikalischen Halbwertszeit (T_1) von 22 Jahren das langlebigste, die anderen Pb-Isotope weisen nur T_1 von Minuten oder Stunden auf (RANKAMA 1956). Ihre Zerfallsart, Strahlenenergie und T_1 sind in Tab.2 (S. 4) ersichtlich. Die durchschnittliche² Verweildauer von Pb-210 in der Atmosphäre, bedingt durch meteorologische Faktoren, wurde von BURTON und STEWARD (1960) auf 29 Tage berechnet. In den mittleren nördlichen Breitengraden zeigen die durchschnittlichen Pb-210-Konzentrationen an verschiedenen Orten relativ geringe Unterschiede, was auf den horizontalen Luftaustausch in der Atmosphäre zurückzuführen ist (JACOB 1962).

Nuklearexplosionen werden als bedeutende Pb-210-Quelle angesehen (JAWOROWSKI 1963, 1966); REASELY (1969) bezweifelt dagegen ihre Bedeutung für den Pb-210-Gehalt der Atmosphäre. Das mit den Bleialkylen der Treibstoffe in die Atmosphäre gelangte Pb-210 spielt mit nur ca. 22 pCi Pb-210/g Pb gegenüber den 0,62 MCi von Pb-210, die jährlich durch den Rn-222-Zerfall in die Atmosphäre gelangen, keine bedeutende Rolle. Die Pb-210-Menge, die bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen frei wird, ist zu vernachlässigen (JAWOROWSKI 1969).

Der Zusatz bleihaltiger Antiklopfmittel (0,15 g Pb/l (BCEI I. Nr. 133, S. 2919, 1975)) in Motortreibstoffen - zumeist Bleitetraäthyl mit Zusätzen von Dibrom- und Dichloräthan (SOMMER et al. 1971) - führte zu massiven, die Biosphäre belastenden, Kontaminationen. Die Teilchengrößen des in Autoabgasen, meist als Halogenide, emittierten Pb sind meist nicht über 1 μ groß (HIRSCHLER et al. 1957, 1964, GOLDSMITH und HENTER 1967). Angelagert an Aerosole verbleiben die Pb-Partikel bis zu 30 Tagen in der Atmosphäre; dies hat eine weltweite Verbreitung der Pb-Verbindungen zur Folge. Untersuchungen über die Zusammensetzung stabiler Isotope zeigen, daß das im Boden deponierte Pb zum überwiegenden Teil aus Autoabgasen stammt (HÖLL und HAMPT 1975, CHOW 1970).

Tabelle 2: Pb-Isotope der radioaktiven Zerfallsreihen
(nach Angaben bei RANKAMA 1956, SEELMANN-
EGGEBERT und PFENNING 1960^(x))

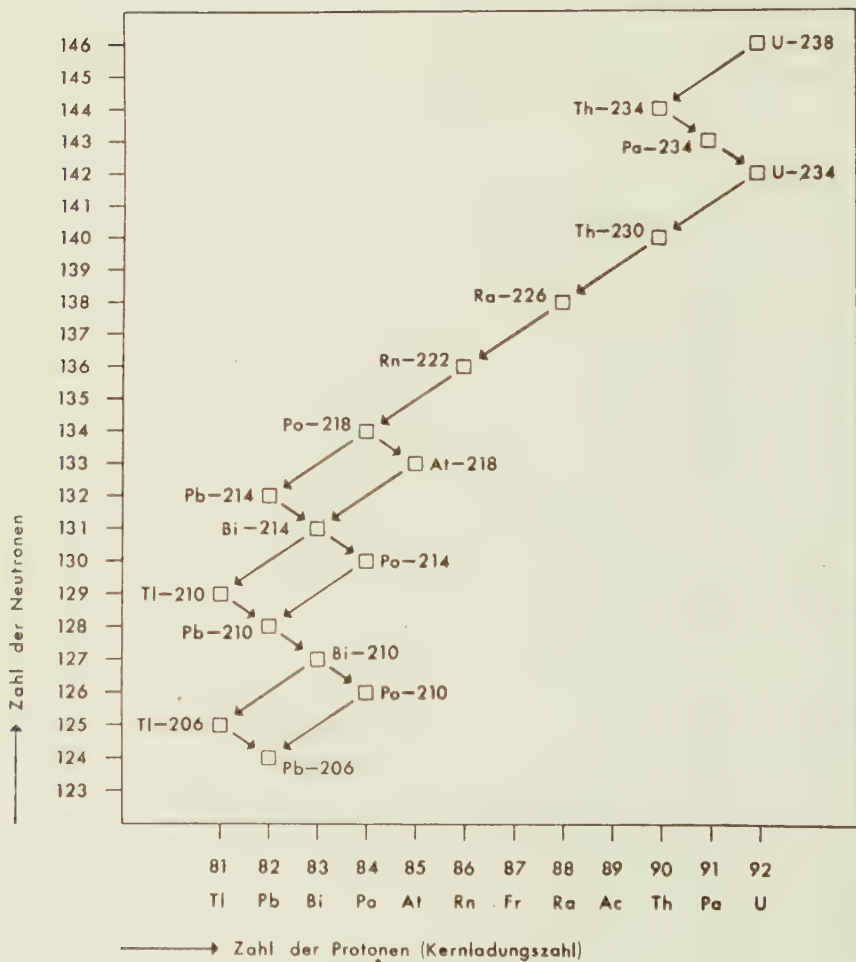
Zerfalls- reihe	Isotop	$T_{1/2}$	Strahlung	Energie MeV ^(x)
Th-232	Pb-212, ThB	10,6 h	β^- , γ	β^- : 0,34; 0,58 γ : 0,12; 0,18; 0,24; 0,30; 0,42
	Pb-208	stabil		
Pa-231	Pb-211, AcB	36,1 min	β^- , γ	β^- : 0,50; 1,39 γ : 0,07; 0,08; 0,40; 0,43; 0,49; 0,76; 0,83
	Pb-207	stabil		
U-238	Pb-214, RaB	26,8 min	β^- , γ	β^- : 0,67; 0,73; 1,03 γ : 0,05; 0,24 0,26; 0,30; 0,35
	Pb-210, RaD	22,0 a	β^- , γ	β^- : 0,02; 0,07 γ : 0,05
	Pb-206, RaG	stabil		

Pb-210 ist ein Nuklid aus der Uran-238 Zerfallsreihe; sie ist in Tab.3 summarisch aufgeführt und in Abb.1 auch graphisch dargestellt.

Tabelle 3: Die Uran-238 Zerfallsreihe (nach SEABORG et al. 1966)

Element	Symbol	Zerfallsart	Halbwertszeit
Uran I	U-238	α	$4,51 \times 10^9$ a
Uran X ₁	Th-234	β	24,1 d
Uran X ₂	Pa-234	β	1,18 min.
Uran II	U-234	α	$2,48 \times 10^5$ a
Ionium	Th-230	α	$7,6 \times 10^4$ a
Radium	Ra-226	α	$1,62 \times 10^3$ a
Radon	Rn-222	α	3,82 d
Radium A	Po-218	α (99,98%)	
		β (0,02%)	3,05 min.
Radium B	Pb-214	β	26,8 min.
Astatin	At-218	α	1,3 sec.
Radium C	Bi-214	β (99,94%)	
		α (0,04%)	19,7 min.
Radium C'	Po-214	α	$1,6 \times 10^{-4}$ sec.
Radium C''	Tl-210	β	1,32 min.
Radium D	Pb-210	β	22,0 a
Radium E'	Bi-210	β ($\approx 100\%$)	
		α ($\approx 2 \times 10^{-4}\%$)	5,0 a
Radium F	Po-210	α	138,4 d
Radium E''	Tl-206	β	4,30 a
Radium G	Pb-206	stabil	

Abbildung 1: Graphische Darstellung der U-238
Zerfallsreihe



Pfeil nach links: α -Zerfall

Pfeil nach rechts: β -Zerfall

2.2. Blei in Böden

Blei kann in Böden sulfidisch, carbonatisch und oxidisch vorliegen, wobei Bleisulfid kaum löslich, Bleicarbonat relativ leicht, Bleioxid noch leichter löslich ist. Insbesondere bei sauerem pH-Wert im Boden können Bleicarbonat und Bleioxid von Pflanzen resorbiert werden.

2.3. Aufnahme von Blei durch die Pflanzen

Blei kann von Pflanzen sowohl über die Blätter als auch über das Wurzelsystem aufgenommen werden. Versuche über die kutikuläre Aufnahme von Blei mit Pb-210 ließen erkennen, daß mehr als 90 % auf die Blätter aufgebrachten Bleis am Aufgabort festgehalten wurden. Die Translokation in andere Pflanzenteile war demgegenüber nur gering (KLOKE et al. 1966, ATHALYE und MISTRY 1972). Als Ursache dafür sehen ARVIK und ZINDAHL (1974) die Struktur der Blattkutikula, insbesondere deren Gehalt an Wachsen an. Keine Translokation wurde nach Applikation des Pb-210 auf ältere Blätter beobachtet (ATHALYE und MISTRY 1972). In frischen, erst nach der Belastung mit Pb gewachsenen Pflanzentrieben sowie Früchten konnte kein signifikanter Bleianstieg festgestellt werden.

Die Bleikontamination von Pflanzen hängt auch stark von der Beschaffenheit ihrer Oberflächen ab. Großflächige, rauhe und fiederteilige Blätter neigen dazu, mehr Blei aufzunehmen als normale und glatte Blätter (HORAK und HUBER 1974).

Eine Aufnahme von Blei in das pflanzliche Gewebe erfolgt auch über die Wurzel. Die Menge für Pflanzen im Boden verfügbarer Schwermetallionen wird maßgeblich von der Anwesenheit löslicher Metallverbindungen und dem Ausmaß der Austauschreaktionen mit Kolloiden dort bestimmt. Der Gehalt an

wasserlöslichen Verbindungen im Boden überschreitet bei den meisten Schwermetallen 1 % des gesamten Gehaltes nicht (SUCHODOLLER 1967). Es konnte gezeigt werden, daß bei steigendem Bleigehalt im Boden auch der Bleigehalt in den Wurzeln enorm zunimmt. Die Translokation in den Sproß ist jedoch sehr gering (LEH 1966, SUCHODOLLER 1967). Erst bei hohem Bodenbleigehalt (> 500 mg/kg) findet auch in den Blättern der Pflanzen eine nennenswerte Anreicherung von Blei statt (MARTEN und HAMMOND 1966). SUCHODOLLER (1967) vermutet am Wurzelhals eine Blockierung des Bleitransportes. Von den Blättern konnte eine Translokation in basaler Richtung nicht festgestellt werden. In geschützt heranwachsenden Pflanzenteilen, wie Knollen, Rüben oder Samen findet man selbst bei starker Oberflächenkontamination stets nur geringe Bleigehalte (LEH 1966). Interessante Beobachtungen machten MALONE et al. (1974) in der Wurzel; das Blei, das in die Wurzel gelangt, wird in Dictyosom-Vesikeln angereichert, sie verschmelzen miteinander und umhüllen so das resorbierte Blei. Diese Vesikel werden in Richtung Zellwand transportiert, verschmelzen mit dem Plasmalemma und schließlich mit der Zellwand. Das Ergebnis ist eine Bleianreicherung in den Zellwänden außerhalb des Plasmalemmas. Ein kleiner, beweglicher Teil des Bleis kann in die anderen Pflanzenteile gelangen. Es wird angenommen, daß der Stamm und die Blätter die gleichen Fähigkeiten der Bleianreicherung in den Zellwänden besitzen wie die Wurzeln. HILL (1960) stellte eine direkte Beziehung zwischen dem mittleren jährlichen Niederschlag und der gesamten α -Aktivität von Gras fest. Er vermutet, daß es hauptsächlich durch direkte Ablagerung von Pb-210 kontaminiert wird, da er keine Beziehung zwischen der gesamten α -Aktivität von Gras und Boden finden konnte. HILL (1960) beobachtete zudem eine größere Aktivität in Pflanzenteilen, die der Atmosphäre direkt ausgesetzt waren. Auch HANSEN und

WATTERS (1970) stellten fest, daß in Pflanzen die natürliche Konzentration des Pb-210 hauptsächlich über die Blätter erfolgt, während der Anteil, den Pflanzen aus dem Boden über die Wurzeln aufnehmen, sehr gering ist. HOLTZMAN (1966) zeigte, daß ältere Teile einer Pflanze höhere Pb-210-Konzentrationen aufweisen als die im Wachstum befindliche Pflanzenspitze. Den oberirdischen Teilen der Pflanzen wird das Isotop Pb-210 hauptsächlich aus der Luft durch Niederschläge und Ablagerung radioaktiver Teilchen an Aerosolen zugeführt.

Inaktives Blei in Pflanzen stammt größtenteils aus bleihaltigen Autoabgasen. Je nach Größe der Bleipartikel werden diese mehr oder weniger weit auf die angrenzenden Nutzflächen und den Bewuchs verteilt.

2.4. Stoffwechsel des Bleis im Organismus

Bleisalze können im allgemeinen die intakte Haut nicht durchdringen; dagegen penetrieren organische Bleiverbindungen wie z. B. Bleitetraäthyl die Haut schnell (BERMAN 1966). Zu percutaner Bleiaufnahme kommt es jedoch selten. Sie ist daher bei Tieren praktisch vernachlässigbar (ALLCROFT 1950). Bleibelastungen über die Atemluft sind nur in der Umgebung von Verhüttungsbetrieben von Bedeutung (SCHMITT et al. 1971). Landwirtschaftliche Nutztiere nehmen Blei fast ausschließlich oral auf (HIRSCHLER et al. 1957, IOSIF 1966, BUCK 1970, HAPKE 1975). Dabei ist die Resorption verschiedener Bleiverbindungen weitgehend gleichgroß, unabhängig davon, ob das Blei als lösliche oder unlösliche Verbindung aufgenommen wird (SEIFERT 1951, GARNER et al. 1968). Die letale Dosis für Kälber, denen Blei als Acetat, Phosphat, Oxyd, Carbonat verabreicht worden waren, unterschieden sich nicht wesentlich. (ALLCROFT 1950) Nur im Fall des Sulfids (Bleiglanz) und des metallischen Bleis

war die Löslichkeit so gering, daß sich die Resorptionsraten stark verminderten (ALLCROFT 1950, GARNER et al. 1968).

Nach Meinung MOESCHLINS (1972) hängt die Toxizität des Pb vor allem von der Korngröße und in zweiter Linie von der Löslichkeit ab. Per os aufgenommenes Blei wird im allgemeinen nur in geringem Umfang resorbiert. Der größte Teil gelangt als unlösliches Bleisulfid in den Faeces zur Ausscheidung (BLAXTER 1950, SEIFERT 1951).

Über den Mechanismus des Bleitransports via Darmmucosa in das Blut liegen noch keine gesicherten Kenntnisse vor (HAMMOND 1969).

Die Höhe der Bleiresorption wird nicht unwesentlich durch den Calciumgehalt in der Nahrung beeinflusst. Eine Erhöhung der täglichen Calcium- und Phosphorzufuhr führt zu einer Herabsetzung der Bleiresorption. Der gegenteilige Effekt ist bei einer verringerten Aufnahme von Calcium (Ca) zu beobachten (SHIELDS und MITCHELL 1941, SOBEL et al. 1938, MEREDITH et al. 1975). Dies deutet auf einen Konkurrenzmechanismus zwischen Pb und Ca in der Mucosa der Darmwand hin. Sowohl die Pb- als auch die Ca-Resorption werden durch Vitamin D erhöht (SOBEL et al. 1938). DELWAIDE et al. (1968) und LIEGEOIS et al. (1961) nehmen an, daß die Verdauungssäfte einen Teil des resorbierten Bleis zu Bleichlorid und Bleigallensäureverbindungen umwandeln. Als komplexierte Bleigallensäuresalze passieren sie dann das Darmepithel und gelangen ins Blut. Der weitaus größte Teil davon wird im Dünndarm im alkalischen Milieu resorbiert (SEIFERT 1951). Im Colon findet dagegen kaum mehr eine Resorption statt, denn der von den Dickdarmbakterien gebildete Schwefelwasserstoff entzieht durch Bildung von unlöslichen PbS den größten Teil des im Dickdarm vorhandenen Bleis der Resorption (REMY 1956, LIEGEOIS et al. 1961, DELWAIDE et al. 1968). Nach HAPKE und PRIGON (1973) verläuft bei Wiederkäuern die Resorption von

Pb während der Darmpassage so langsam, daß nicht mehr als 10 % der oral aufgenommenen Menge resorbiert wird; BLAXTER (1950) gibt für Schafe eine Resorptionsquote von 1 - 2 % Pb an, PATTERSON (1965) 5 % für den Menschen. Nach Mutmaßungen JAWOROWSKIS (1969) sollen beim Menschen 9,4 % des mit der Nahrung aufgenommenen Pb das Blut erreichen. Der lebende Organismus unterscheidet bei gleichzeitiger Aufnahme von inaktivem Pb und Pb-210 biologisch nicht zwischen beiden (JAWOROWSKI 1969).

Die genaue Bindungsform des Pb im Blut ist nicht bekannt; nach DELWAIDE et al. (1968) sind 80 %, nach BERMAN (1966) 90 % des im Körper zirkulierenden Bleis an die Erythrozytenoberfläche gebunden. Im Plasma wird Pb wahrscheinlich kolloidal suspensiert und als Diphosphat transportiert (HASS et al. 1964). Das meist im Darm resorbierte Blei gelangt über den Pfortaderkreislauf zunächst in die Leber, von wo der Hauptteil mit der Galle wieder in den distalen Teil des Duodenum sezerniert wird. Der Rest tritt aus der Leber in den großen Kreislauf über (GARNER et al. 1968, SEIFERT 1951).

Pb(II)Ionen werden aber auch von spezifischen Liganden in der Leber temporär gebunden und gespeichert (BERSIN 1963). Nach DELWAIDE et al. (1968) stellt die Verteilung des Bleis im Organismus eine Funktion der Zeit dar. Nach erfolgter Resorption verteilt sich das Blei in verschiedenen Geweben unterschiedlich; die höchsten Konzentrationen werden in Leber und Nieren angetroffen (SEIFERT 1951, IOSIF 1966, BERMAN 1966, DELWAIDE et al. 1968). Blei verläßt die weichen Gewebe jedoch schnell; nicht in den Exkrementen ausgeschiedenes Blei lagert sich im Knochen ab und wird dort angereichert (SEIFERT 1951, LIEGEOIS et al. 1961, BERMAN 1966, GARNER et al. 1968). Per os aufgenommenes Blei wird zu 90 % über die Faeces exkretiert (BLAXTER 1950). Sein Exkretionsmechanismus ähnelt dem des Calciums (DELWAIDE

et al. 1968). Nach intravenöser Zufuhr scheidet sich das Blei zusammen mit dem Gallensaft im Dünndarm ab (BLAXTER 1950). Große Bedeutung für die Eliminierung des Pb aus dem Körper besitzt auch die renale Bleiausscheidung (BERMAN 1966). Mit der Milch werden dagegen nur geringe Mengen Blei sekretiert (HAMMOND und ARONSON 1964). Kleinere Mengen gelangen auch im Speichel, Schweiß und über die Haare zur Ausscheidung (LIEGEOIS et al. 1961, BERMAN 1966).

Mehrere Autoren berichten über eine Affinität und Anreicherung des Bleis im osteoiden Gewebe des Organismus, wo mehr als 90 % des Körperbleis abgelagert sind (HAMMOND und ARONSON 1964, LIEGEOIS et al. 1961, DELWAIDE et al. 1968). Dem Skelett kommt offenbar für die intrakorporale Bleibewegung im Individuum wesentliche Bedeutung zu, obwohl bisher noch relativ wenig über den Mechanismus der Deposition, Speicherung und Mobilisierung des Bleis im Knochen bekannt ist.

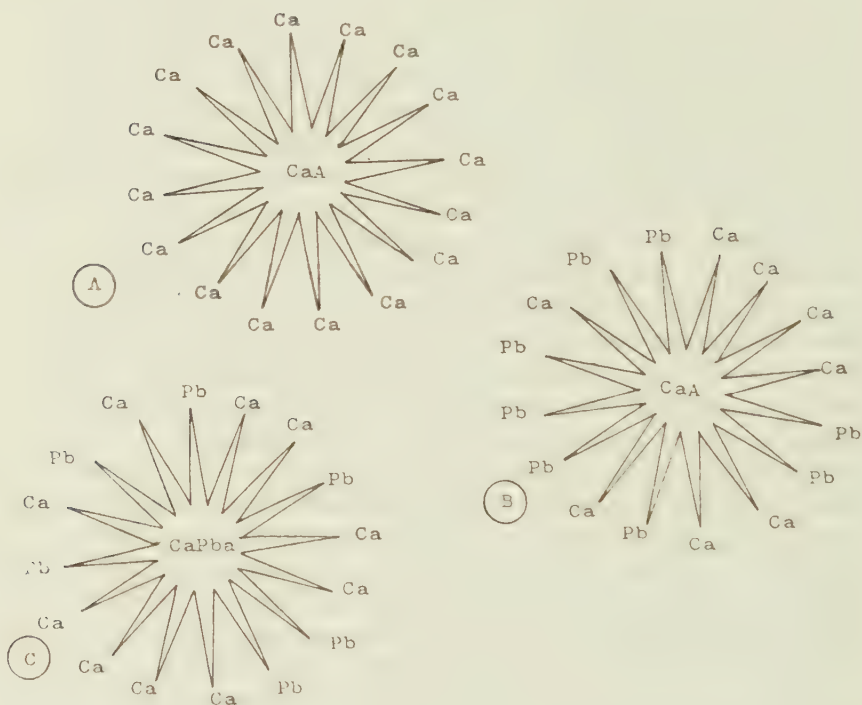
Das osteoide Gewebe baut sich im wesentlichen aus den nur 650 Å großen Hydroxylapatit-Kristallen, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, auf (BERSIN 1963) (Abb.2A, S. 14)

An ihrer Oberfläche (80 - 100 qm/g) adsorbierte Ca^{++} -Ionen sind leicht mobilisierbar und dienen dem Körper als Calciumreserve. Ein Austausch der Ca-Ionen findet nur im Rahmen des ständigen physiologischen An- und Abbaus des osteoiden Gewebes statt (LEINERT 1968).

Nach der Resorption der Blei-Ionen aus dem Magen-Darmtrakt werden sie zur unmittelbaren Umgebung der Hydroxylapatitkristalle transportiert. Hier findet eine schnelle Diffusion in die die Kristalle umgebende Wasserhülle statt. Nach SCHENKEL (1964) kommt das Blei in zwei verschiedenen Fraktionen im Knochen vor. Diese Beobachtung stimmt mit der Beschreibung der Bindungsverhältnisse von Pb und Ca im osteoiden Gewebe nach BERSIN (1963) überein, demzufolge

Pb(II)Ionen durch heteroionischen Austausch die Ca(II)Ionen an der Oberfläche der Hydroxylapatitkristalle verdrängen können. Das Schema dieser "Verbleiung" von Knochensubstanz ist aus Abb.2 (S.14) ersichtlich. Ins Innere der Kristalle gelangen die Pb(II)Ionen nur, wenn sie als Analog-Stoffe zu den Ca(II)Ionen an Mineralisierungsvorgängen teilnehmen (BERSIN 1963). Die röntgenstruktur-analytischen Untersuchungen an veraschtem Knochengewebe deuten an, daß Pb im Austausch gegen Ca in das Gefüge des Hydroxylapatitkristalls eintritt (MC DONALD et al. 1951). Nach den Untersuchungen von SCHENKEL (1964) an Ratten strebt der Pb-Gehalt im Knochen bei konstanter Zufuhr einem Grenzwert zu. Dagegen finden WEINIG und BÖRNER (1961) im allgemeinen mit dem Lebensalter steigende Pb-Werte im Knochen. BEHRENS und BAUMANN (1934) und SIEBER (1936) stellten bei akuten Bleivergiftungen in zahlreichen Autohistogrammen fest, daß sich Pb vor allem subepiphysär und subperiostal in Bezirken der stärksten Ca-Ablagerung, jedoch kaum im Knochenmark anreichert, während es sich bei chronischen Vergiftungen mehr diffus im Knochen verteilt (TIMM 1936, WEINIG und BÖRNER 1961). Ähnliche Feststellungen konnte auch STAHLHOFEN (1964) machen. Die für den Mineraltransport im Organismus verantwortlichen Zellen arbeiten nicht synchron. Verknöcherungsbereite Zonen im Skelett nehmen bei einer einmaligen Belastung des Körpers mit einem knochensuchenden Element am meisten auf, da sie einen größeren Bedarf an Mineralstoffen haben als andere Zonen des Knochens. Eine komplette Verbleiung der Mineralsubstanz des osteoiden Gewebes soll in den physiologischen Aufbauzonen möglich sein. Sonst kommt es nur zu einem oberflächlichen Ionenaustausch. Eine chronische Pb-Belastung im Unterschied zu einer einmaligen Pb-Aufnahme hat eine gleichmäßigere Ablagerung von Pb im gesamten Knochen zur Folge (LEHNERT 1968, STAHLHOFEN 1964).

Abbildung 2: "Verbleiung" von Knochensubstanz (LEHNERT 1968)



Das am Hydroxylapatit oberflächlich adsorbierte Ca(II) (Schema A) kann von Pb(II) durch heteroionischen Austausch verdrängt werden (Schema B), während die Apatitbindung dem Pb(II) nur beim Ossifikationsprozeß zugänglich wird (Schema C).

$\text{Ca} = \text{Ca(II)}$

$\text{CaA} = \text{Hydroxylapatit } (3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca(OH)}_2)$

$\text{CaPba} = \text{Pb(II)-substituiertes CaA}$

WEINIG und BÖRNER (1961), GOSSMANN und HEILENZ (1962) stellten eine homogene Verteilung des Pb zwischen Spongiosa und Compacta fest. Dies wird als Folge der ständigen Pb-Einlagerung nach längerer Aufnahme geringer Mengen dieses Elements durch den Organismus gedeutet. RIECKEN (1963) fand bei bleivergifteten Menschen und Tieren in den Höhlen von Osteozyten, ihren Fortsätzen und in den Haver'schen Kanälchen histochemische Pb-Ablagerungen. Bei bleiangereicherten Knochen beobachteten HASS et al. (1964) infolge gesteigerter Osteoklastenaktivität eine Wachstumsverzögerung in den Epiphysen. Diese Störungen zeigten sich als mangelhafte Trabekelbildung. Die Osteoblasten produzieren an diesen Stellen lose kollagene Fibrillen und eine geringere Menge an Osteoid als normal.

BARTH (1931) konnte bei normalbelasteten Menschen keine sicheren Mengenunterschiede zwischen Epiphyse, Diaphyse und platten Knochen feststellen. KHANDÉKAR und ANAND (1971) berichten jedoch über Unregelmäßigkeiten der Pb-Verteilung in verschiedenen menschlichen Knochen. Die höchsten Pb-210-Gehalte wurden in den Rippen, die geringsten in den Röhrenknochen festgestellt. Die durchschnittlichen Werte schwanken um den Faktor 4,5. Auch WEINIG und BÖRNER (1961) fanden die höchsten Pb-Werte in Schädel und Rippen. Die geringsten wurden in Tibia und Fibula analysiert. LADINSKAYA et al. (1973) stellten den höchsten Pb-210-Gehalt ebenfalls im Schädel des Menschen fest. Sie fanden jedoch keinen Unterschied im Pb-210-Gehalt von Rippen und Röhrenknochen. Die Untersuchungen von HOLTZMAN (1963) der verschiedenen menschlichen Knochen ergaben eine maximale Schwankung um den Faktor 2. Hunde, die Pb-210 intravenös verabreicht erhielten, wiesen nach einer Versuchsdauer von 1497 Tagen auch in Schädel und Rippen wesentlich höhere Pb-210-Gehalte auf als in den Röhrenknochen. Die niedrigsten Pb-210-Werte wurden jedoch in den Schwanzwirbeln

der Tiere festgestellt. Sie lagen um den Faktor 10 niedriger als in Schädel und Rippen (LLOYD et al. 1975).

2.5. Biochemische Wirkung von Blei(II)Verbindungen

Blei hat im Organismus keine ernährungsphysiologische Bedeutung. Als "normale Verunreinigung" der Natur wird Blei vom Körper bis zu einem gewissen Umfang toleriert; durch biologische Mechanismen kann seine schädliche Wirkung auf den Organismus kompensiert werden (HAPKE 1974).

Die Bleivergiftung äußert sich in einer Hemmung verschiedener Fermente; dabei kommt es vorzugsweise zu einer Inhibition SH-haltiger Enzyme (RÜSSEL 1967). In der ionisierten Form besitzt Blei eine große Affinität zu den Sulfhydrylgruppen bestimmter schwefelhaltiger Aminosäuren (DELWATDE et al. 1968); dadurch werden diese Enzymsysteme inaktiviert (HAPKE und PRIGGE 1973). Nach HAPKE (1974) ist die Bleivergiftung als eine Fermenthemmung im zellulären Zwischenstoffwechsel zu interpretieren. Im Organismus kommt es durch ionales Blei zur Störung des Elektrolytgleichgewichts und zahlreicher anabolischer Prozesse, etwa der Biosynthese des Hämoglobins, der Nukleinsäuren, der Proteine und verschiedener Hormone (LEHNERT 1968). Welche Enzyme im zentralen und peripheren Nervensystem durch die Pb (II) Ionen gehemmt werden, worauf die klinischen Vergiftungserscheinungen zurückzuführen sind, ist nicht bekannt (HAPKE und PRIGGE 1973). Wird II-wertiges Blei von schwefelhaltigen Proteinen oder anderen zellulären Bestandteilen gebunden oder kommt es zu deren Einlagerung in den Knochen, so ist damit eine Entionisierung und "Entgiftung" des Bleis verbunden (LEHNERT 1968, HAPKE und PRIGGE 1973, HAPKE 1974). Bekannt sind einige Reaktionsmechanismen des ionalen Bleis innerhalb der Porphyrinsynthese, die eine Störung der Hämoglobinbildung bewirken (STICH 1961, HAPKE und PRIGGE 1973).

Die Beeinträchtigung von Fermentsystemen führt zu einer Anreicherung ihrer jeweiligen Vorstufen im Blut und ihrer vermehrten renalen Exkretion (de BRUIN 1971, HAPKE 1974). Die Kondensation zweier Moleküle δ -Aminolävulinsäure (δ -ALA) zu Porphobilinogen wird enzymatisch durch die δ -ALA-Dehydratase katalysiert. Bleiionen inaktivieren dieses Enzym mehr oder weniger stark (GOLDSMITH und HEXTER 1967); wobei sich die Menge des entstehenden Porphobilinogens vermindert, die Vorstufe (δ -ALA) dagegen anreichert und die überschüssige δ -ALA über die Nieren ausgeschieden wird. Dem vermehrten Erscheinen von δ -ALA im Harn kommt für die Frühdiagnose der Pb-Vergiftung beim Menschen große Bedeutung zu (STICH 1961, SCHMIDT und STICH 1973, LEINERT 1968). Auch bei Wiederkäuern kann eine subklinische Pb-Vergiftung an der δ -ALA-Konzentration im Harn erkannt werden (PRIGGE 1971, FASSBENDER 1973, HAPKE 1974).

Offensichtlich bedingt die dauernde Aufnahme von Pb eine Enzyminduktion, die eine Anpassung des Organismus an derartige Belastungen darstellt. Ein Rückkopplungsmechanismus regt dabei anscheinend die Synthese der gehemmten Enzyme an (HAPKE 1974). So hat auch die vermehrte δ -ALA-Ausscheidung bei längerer Pb-Aufnahme die Tendenz zur Normalisierung. Auch REMY (1956) stellte bei Ratten eine Art Gewöhnungsprozeß an Pb fest. Nach einer vorhergegangenen chronischen Pb-Vergiftung werden deshalb akut - toxische Bleidosen vertragen.

2.6. Vergiftungsmöglichkeiten der Rinder (Ätiologie)

Blei stellt bei Rindern eine der häufigsten Vergiftungsquellen dar (ROSENBERGER 1970). Die Ursachen der Bleivergiftungen sind sehr vielfältig. Die Bleischäden nehmen analog der Intensivierung der Bleigewinnung zu (ROEMMELE 1950). Besonders häufig werden Vergiftungen in Gebieten mit hohem Bleivorkommen im Boden und in der Nähe von Erzhütten beobachtet; hier kommt es

durch bleihaltige Emissionen zur Kontamination von Weiden und Futtermitteln. Bei Weidegang wie auch bei Verfütterung solcher Futtermittel besteht dann die Möglichkeit der Aufnahme toxischer Mengen Pb (ROENNELE 1950, SCHÖBERL und RUSSEL 1971, HAMMOND und ARONSON 1964). Trotz Vorkehrungsmaßnahmen auf technischen und hygienischen Gebieten bei der Verhüttung und Aufarbeitung von Pb treten in Tierbeständen immer wieder Pb-Vergiftungen auf. Rinder zeigen eine ausgesprochene Vorliebe für bleihaltige Stoffe (ARONSON 1972, SCHÖBERL und RUSSEL 1971); sie lecken gerne an bleihaltigen Anstrichen und Gegenständen. Gelegenheiten zur Aufnahme von Pb bestehen auch bei der Verwendung von Bleirohren für die Trinkwasserversorgung, durch Zugang zu bleiangereicherten Motorölrösten und ausgelaufenen Batterien (OSWEILER et al. 1973). Deshalb kommt es auch zu Pb-Intoxikationen in Gebieten, in denen diese sonst nicht beobachtet werden. Dagegen sind bis jetzt bei Rindern, die auch wiederholt oder über längere Zeit stärker bleihaltiges Gras in der Nähe vielbefahrener Autobahnen aufgenommen hatten, noch keine Pb-Vergiftungen registriert worden (ROSENBERGER 1970, BOVAY et al. 1970a).

2.7. Symptomatik der Bleivergiftung

2.7.1. Chronische Bleiintoxikation

Die chronische Verlaufsform ergibt sich aus einer längeren Pb-Belastung des Organismus (GARNER et al. 1968). FASSBENDER (1973) schätzt die Pb-Mengen, die noch keine meßbare Auswirkung auf den Organismus hervorruft, bei Schafen mit 0,1 mg/kg Körpergewicht (KGW) und Tag. Schon bei 0,3 mg Pb/kg KGW und Tag treten durch einen Enzymaktivitätsabfall meßbare Störungen in der Hämoglobinsynthese auf. Er ist jedoch erst bei einer täglichen Aufnahme von 3 mg Pb/kg KGW ein sicherer Indikator für eine erhöhte Pb-Belastung (FASSBENDER 1973).

Rinder, die über 12 Monate täglich 1 mg Pb/kg KGW, danach steigende Mengen bis 5 mg Pb/kg KGW aufnahmen, zeigten nur unspezifische Symptome, wie Gewichtsverluste und Appetitmangel (ALLCROFT 1951). Neben rauhem Haarkleid, mäßigem Ernährungszustand und Nachhandschwäche (ROEMNELE 1950) wurden auch noch Verdickungen der Epiphysen beschrieben (IRENY 1956). HAMMOND und ARONSON (1964) konnten im chronischen Vergiftungsstadium keine Verminderung der Milch- und Zuchtleistung nachweisen. Pferde zeigten Gewichtsverluste, progressive Muskelschwäche (Leistungsabfall), Senkrücken, Gehörlosigkeit, Ataxie, inspiratorische Dyspnoe mit Atembeschwerden und schließlich Kollaps (SCHMITT et al. 1971). Als typisches Symptom der chronischen Bleivergiftung wird die Anämie beschrieben.

2.7.2. Perakute und akute Bleiintoxikation

Eine einmalige Aufnahme relativ großer Bleimengen oder die mehrmalige Indigestion stark Pb-kontaminierten Futters innerhalb relativ kurzer Zeit können bei Rindern perakute oder akute Bleivergiftungen hervorrufen (ALLCROFT 1950, HAMMOND und ARONSON 1964). Einmalige Aufnahmen von 200 - 400 mg Pb/kg KGW führten bei Kälbern zu perakut verlaufenden Bleiintoxikationen mit letalem Ausgang (ALLCROFT 1950).

Experimentelle Untersuchungen an Rindern ergaben, daß bei einer täglichen Aufnahme von 6 - 7 mg Pb/kg KGW fast immer nach ca. 6 - 8 Wochen mit dem Auftreten von akuten Intoxikationserscheinungen zu rechnen ist (HAMMOND und ARONSON 1964, ARONSON 1972). Schafe zeigen schon ab 4,4 mg Pb/kg KGW und Tag nach ca. 11 Wochen akute Symptome (PRIGGE 1971). Der klinische Verlauf ist im allgemeinen sehr kurz und schwankt zwischen 2 und 22 Stunden (HUTCHINS 1955, HAMMOND und ARONSON 1964, THIEMANN et al. 1971). Nicht selten wer-

den durch Pb vergiftete Rinder tot aufgefunden, ohne daß zuvor Krankheitserscheinungen beobachtet werden konnten (ROSENBERGER 1970). Die klinischen Symptome können als überwiegend nervöse Störungen aufgefaßt werden; sie äußern sich in gestörtem Bewußtsein und in motorischer Reizbarkeit. Typische zentralnervöse Erscheinungen sind steifes Stehen, Parese der Nachhand; oft werden ruheloses Umherwandern mit starker Erregung, die sich bis zu Tobsuchtsanfällen steigern kann, beobachtet (THIEMANN et al. 1971, HUTCHINS 1955, CHRISTIAN und TRYPHONAS 1971, OSWEILER et al. 1973, SCHÖBERL und RÜSSEL 1971). Charakteristisch sind Zuckungen und Zittern einzelner Muskelgruppen, insbesondere im Kopfhalsbereich, es kommt zu Kau- und Schluckbeschwerden, starkem Zähneknirschen und Speicheln. Als eines der typischsten Symptome gelten Sehstörungen, die häufig bis zum Erblinden der Tiere führen. Phasen von Depression und Exzitation wechseln miteinander ab. Im Stall drängen die Tiere mit dem Kopf gegen die Wand (ALLCROFT 1951, ROENNELE 1950, THIEMANN et al. 1971). Außerdem sind kolikartige Erscheinungen und Verstopfungen zu beobachten. Die Schleimhäute zeigen anfangs eine Rötung, werden später schmutzig und schließlich grau verfärbt. Die Temperatur ist meist normal, der Puls oft schwach, verlangsamt oder beschleunigt (ROENNELE 1950).

2.7.3. Kumulative Bleiintoxikation

Nicht nur durch direkt aufgenommene größere Mengen Pb, sondern auch durch Remobilisierung im Organismus abgelagerten Pb kann es zu deutlichen klinischen Symptomen kommen. Dabei ist mehr der plötzliche Anstieg des Pb im Blut und weniger sein absoluter Gehalt im Organismus für die toxische Wirkung von Bedeutung. Die Pb-Anflutung resultiert nicht allein aus vermehrter Pb-Aufnahme; vielmehr trägt dazu auch die

Mobilisierung abgelagerten und damit "entgifteten" Pb im Knochen bei, wo binnen kurzer Zeit größere Mengen freigesetzt werden können. Anlaß dazu geben eine Reihe äußerer oder/ und innerer Faktoren, wie Trächtigkeit, Hochlaktation, Futterumstellung oder Stoffwechselstörungen. Es kommt dann zur sogenannten Bleikrise (FRANKE 1963) mit akuten oder perakuten Vergiftungserscheinungen (HAPKE und PRIGGE 1973, HAPKE 1974). Der protrahierten Pb-Intoxikation liegt demnach immer eine kumulative Pb-Inkorporierung zugrunde. Sie kann sich entweder in einer rein chronischen Vergiftung äußern oder in einer chronischen Form mit akuten Schüben. Die Symptomatik ist ähnlich der echten akuten oder perakuten Pb-Intoxikation.

3. MATERIALIEN UND METHODIK

3.1. Raum Kulmbach (wenig oder nicht bleibelastet)

Der Untergrund in der Umgebung von Kulmbach ist geologisch außerordentlich unterschiedlich aufgebaut (GUDDEN 1955, 1977). Zwischen dem paläozoischen Grundgebirge des Frankenswaldes im Nordosten und dem breitflächigen Quartär des Maintales treten fast alle Formationsstufen des Mesozoikums (Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper) mehr oder minder flächenhaft zutage. Sowohl in der Gesteinszusammensetzung, als auch im Chemismus der in ihnen enthaltenen Wässer unterscheiden sie sich zum Teil beträchtlich. Natürliche Pb-Anreicherungen kommen im Raum Kulmbach nicht vor.

Handels- und betriebseigene Futtermittel, insgesamt 57, wurden 6 Betrieben in folgenden Formationsstufen entnommen: Schimmendorf (Dogger), Kirchleus (Malm = weißer Jura), Untersteinach und See (Muschelkalk), Tennach (Buntsandstein) und Melkendorf (Quartär, Maintal). Zum Teil stammen Futtermittelproben auch aus den Betrieben der untersuchten Schlachttiere. Ebenso wurden noch Weidegrasproben aus der Umgebung von Kulmbach in die Untersuchungen mit einbezogen. Über die verschiedenen untersuchten Futtermittel und ihre Probenzahl gibt Tab.4 (S. 23) Auskunft.

Um einen möglichst genauen Überblick über die Pb-Aufnahme mit dem Futter zu erhalten, erfolgte die Entnahme der Grasproben im Frühjahr und im Herbst. Auf diese Weise sollten die zum Teil sehr ausgeprägten jahreszeitlichen Unterschiede an Pb- und Pb-210-Gehalten des Grases besser erfaßt werden. In jedem der Betriebe wurde die Fütterung der Rinder, sowie der Anteil der Einzelfuttermittel an der Tagesfütterration im Sommer- und Winterhalbjahr registriert.

Tabelle 4: Futtermittelarten und Anzahl der analysierten Proben aus dem Raum Kulmbach

Futtermittel	n
Heu	5
Grummet	5
Stroh	4
Weidegras	17
Raps	2
Futterrüben	5
Maissilage	2
Grassilage	1
Getreideschrot	5

Kraftfutter	7
Mineralfutter	4

Die Bestandsgrößen der untersuchten Betriebe liegen zwischen 15 und 40 Stück Vieh. Es dominiert die traditionelle Haltungsform des Milchvieh-Rindermastbetriebes mit eigener Nachzucht und Bullenmast. Die Tiere werden ganzjährig im Stall gehalten.

Die Schwanzwirbel (14. - 18.) wurden für die Untersuchung am Schlachthof Kulmbach geschlachteten Rindern aus dem Raum Kulmbach entnommen. Dabei wurde versucht, Schwanzwirbelknochen von Tieren verschiedenen Alters und Geschlechts zu erhalten. Die geschlachteten Tiere waren ausschließlich Rinder der Rasse Deutsches Fleckvieh. Alter, Geschlecht und Herkunft der untersuchten Tiere sind aus Tab.5 (S.24) zu ersehen.

Tabelle 5: Rasse, Alter, Geschlecht und Herkunft der
Tiere aus dem Raum Kulmbach

Tier-Nr.	Rasse	Alter in Jahren	Geschlecht m = männl. w = weibl.	Herkunft
1	dt. Fl.	4 1/2	w	Neuenreuth a. Main
2	"	8	w	Gundersreuth
3	"	5	w	Untersteinach
4	"	1 2/3	m	"
5	"	1 1/2	m	"
6	"	2	m	Tennach
7	"	4	w	"
8	"	3 1/2	w	"
9	"	2	m	Melkendorf
10	"	1 1/2	m	"
11	"	1	w	Unterpurbach
12	"	7	w	See
13	"	7	w	Oberlangenroth
14	"	5	w	Pleoven
15	"	2	m	Flurholz
16	"	8	w	"
17	"	1 1/2	m	Hegnabrunn
18	"	1 1/2	m	Förstenreuth
19	"	7	w	"
20	"	6	w	Kauerndorf
21	"	1 1/2	w	Gärtenroth
22	"	1 1/2	m	Kirchleus
23	"	3 1/2	w	"
24	"	1 3/4	w	Oelschnitz
25	"	2	m	Wüstenselbitz

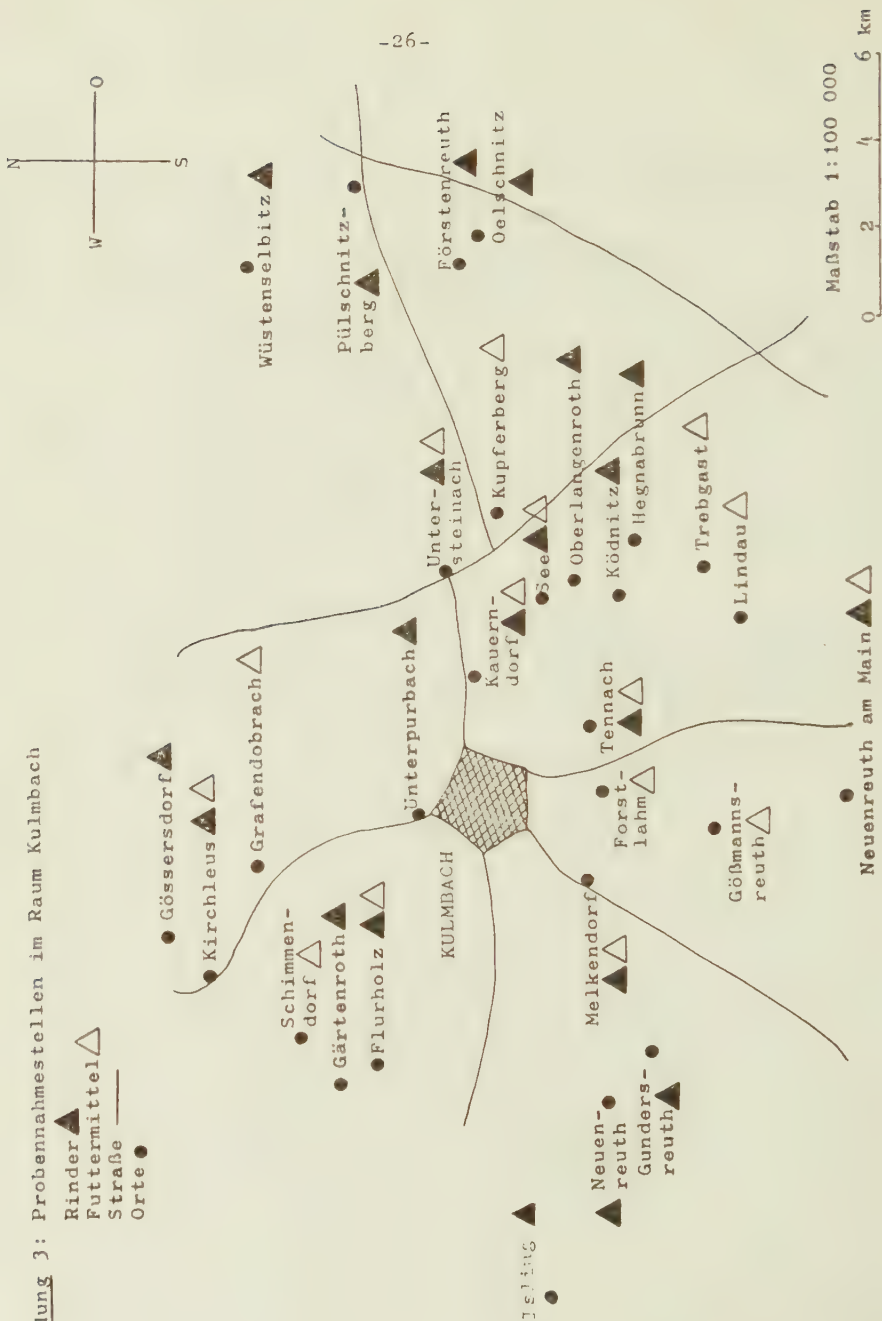
Fortsetzung von Tab.5

Tier-Nr.	Rasse	Alter	Geschlecht	Herkunft
		in Jahren	m = männl. w = weibl.	
26	"	3 1/2	w	Pülschnitzberg
27	"	1 3/4	w	Ködnitz
28	"	1 3/4	m	Isling
29	"	2	m	Gössersdorf
30	"	4 1/2	w	Neuenreuth

dt. Fl.: Deutsches Fleckvieh

Der geographische Lageplan (Abb.3, S.26) gibt Aufschluß über die Probennahmestellen für Futtermittel und die Lage der Ortschaften, aus denen die untersuchten Schlachtrinder stammen.

Abbildung 3: Probennahmestellen im Raum Kulmbach



3.2. Raum Mechernich (stark bleibelastet)

Zwischen den Städten Schleiden und Euskirchen, am Nordabfall der Eifel, liegt der Mechernicher Bleiberg, eines der ältesten Bergbaugebiete Deutschlands (SCHNITZ 1975). Um die Stadt Mechernich befinden sich ausgedehnte Pb-Lagerstätten. Seit der Aufnahme ihrer Ausbeutung zur Zeit der Kelten bis zur Stilllegung des Bergbaues im Jahre 1957 lieferten sie mehr als 3 Mio. Tonnen Pb. Man schätzt die Vererzungszone im mittleren Buntsandstein auf 10 km Länge und 1 km Breite, bei einer Mächtigkeit, die zwischen 30 und 70 Metern schwankt. Der Erzvorrat soll insgesamt mehr als 100 Mio. Tonnen betragen, bei einem Metallgehalt von 0,6 - 1% Pb und 1,1 - 2,3% Zink. Wegen des krisenhaften Sturzes der Metallpreise wurde der jahrhundertalte Bergbau 1957 stillgelegt. Aus diesen Lagerstätten förderte man bis 1957 15 - 20% der jährlichen Bergwerksproduktion an Pb der Bundesrepublik Deutschland.

Die Mechernicher Pb-Zn-Erzlagerstätten bestehen aus einer sedimentären Schichtenfolge von feinkörnigen Sandsteinen und groben Konglomeraten, die ihrem geologischen Alter nach zum mittleren Buntsandstein gehören. Die Vererzung der Buntsandsteine erfolgte nicht gleichzeitig mit ihrer Bildung, sondern beträchtlich später (epigenetisch). Es handelt sich nach der heutigen Auffassung um eine hydrothermale Imprägnationslagerstätte, d. h., die Erze sind im gelösten Zustand aus Spalten und Klüften aus dem tieferen Untergrund, dem Devon, aufgestiegen, und in dem gute Speichermöglichkeiten bietenden Buntsandsteinen als "Knotten-erze" wieder ausgefällt worden. Die Vererzung ist flötzförmig (stratiform). Nach SCHNITZ (1975) handelt es sich um eine Konzentrationslagerstätte in ariden Schuttgestei-

nen, deren Metallinhalt sekundär einwanderte. Unter "Anotten" werden 0,5 - 4 mm dicke Kügelchen aus Quarzkörnern, die gewöhnlich durch kristallisierten Bleiglanz verkittet sind, verstanden. Dadurch besitzen sie eine höhere Festigkeit als der sie umgebende Sandstein. Haupterze der Mechernicher Lagerstätten bilden Bleiglanz (Galenit, PbS), aber auch Weißblei (Cerussit, $PbCO_3$) und Zinkblende (ZnS). Der Abbau erfolgte zunächst durch Eigenlöhner; methodisch war später Stollenbergbau üblich. Mitte des 19. Jahrhunderts wurde der Mechernicher Bergwerks-Aktien-Verein gegründet. Die Belegschaft erreichte maximal mit 4470 Mann ihre Höchstzahl. 1937 wurde die Gewerkschaft Mechernich von der Preußag übernommen und 1957 stillgelegt. Schon Ende des 18. Jahrhunderts (NEU 1975), zur Zeit der Kolonisation der Gebiete um Mechernich, liegen Berichte über größere Viehverluste der Bauern, verursacht durch Pb-haltigen Sand, vor.

Aus dem bleischüssigen Gebiet um Mechernich wurden aus 13 Betrieben betriebseigene- und Handelsfuttermittel, insgesamt 77, auf den Pb- und Pb-210-Gehalt untersucht. Die Entnahme der Grasproben erfolgte im Frühjahr, 2 - 3 Wochen nach dem Weideauftrieb und im Herbst nach dem Abtrieb. Auch hier wurden die Landwirte über den Anteil der Einzelfuttermittel während der Sommer- und Winterfütterung befragt. Aus Tab. 6 (S. 29) sind die verschiedenen untersuchten Futtermittel und die Anzahl der Proben ersichtlich.

Tabelle 6: Futtermittelarten und Anzahl der analysierten Proben aus dem Raum Mechernich

Futtermittel	n
Heu	5
Grummet	3
Stroh	8
Weidegras	17
Raps	2
Futterrüben	10
Maissilage	3
Grassilage	2
Zuckerrüben blattsilage	3
Trockenrüben- schnittzel	3
Getreideschrot	8
- - - - -	-
Kraftfutter	9
Mineralfutter	4

Die Bestandsgrößen der untersuchten landwirtschaftlichen Betriebe im Raum Mechernich betragen zwischen 25 und 60 Stück Vieh. Auch hier überwiegen, wie im Raum Kulmbach, noch die herkömmlichen Milchvieh-Mastbetriebe. Die Rinder weiden ab etwa Mitte Mai bis Anfang November. Aus dem bleischüssigen Gebiet kamen Schwanzwirbelknochen von 45 Rindern zur Untersuchung, die größtenteils bei der Fleischbeschau am Schlachthof Euskirchen entnommen wurden. Die Tiere gehörten der rotbunten oder schwarzbunten Niederungsrasse an. In Tab.7 (S.30) sind Rasse, Alter, Geschlecht und Herkunft der Rinder ersichtlich.

Außer Futtermittel- und Schwanzwirbelproben wurden zusätzlich 6 Bodenproben aus dem Raum Kulmbach und 21 aus dem bleischüssigen Gebiet um Mechernich untersucht. Die Böden stammen aus der Oberkrume von Futterflächen und Weiden.

Tabelle 7: Rasse, Alter, Geschlecht und Herkunft der
Tiere aus dem Raum Nechernich

Tier-Nr.	Rasse	Alter	Geschlecht	Herkunft
		in Jahren	m = männl. w = weibl.	
31	s-bt	3 1/2	w	Enzen
32	s-bt	7	w	"
33	s-bt	1 1/2	m	"
34	s-bt	2 1/2	m	Kommern
35	s-bt	2	w	Zülpich
36	s-bt	2	m	Elsig
37	s-bt	2	m	"
38	s-bt	1 3/4	m	"
39	s-bt	4 3/4	w	"
40	rt-bt	2	m	Breitenbenden
41	rt-bt	1 3/4	m	"
42	rt-bt	1 1/2	m	"
43	s-bt	2	m	Frauenberg
44	s-bt	2	m	"
45	rt-bt	4	w	Hostel
46	s-bt	3	w	"
47	rt-bt	2	m	"
48	s-bt	2	m	"
49	s-bt	1 3/4	m	"
50	rt-bt	1 1/2	m	"
51	s-bt	1 1/2	m	"
52	s-bt	1 1/2	m	"
53	rt-bt	5	w	Strempt
54	s-bt	1 3/4	m	Oberwichterich
55	s-bt	2	m	"

Fortsetzung von Tab.7

Tier-Nr.	Rasse	Alter in Jahren	Geschlecht m = männl. w = weibl.	Herkunft
56	s-bt	1 1/2	m	Oberwichterich
57	s-bt	2	m	"
58	s-bt	1/2	w	"
59	s-bt	1/2	w	"
60	rt-bt	2	m	"
61	s-bt	4 1/2	w	Mechernich-Urfig
62	s-bt	5	w	"
63	s-bt	2	m	Mechernich
64	s-bt	12	w	"
65	s-bt	4	w	Floisdorf
66	s-bt	1 1/2	m	"
67	s-bt	1 1/2	m	Eicks
68	s-bt	1 1/2	m	"
69	s-bt	1 3/4	m	"
70	s-bt	1 1/2	m	"
71	rt-bt	2	m	Bergbuir
72	s-bt	2	m	"
73	rt-bt	2	m	Berg
74	rt-bt	2	m	"
75	s-bt	2	w	Schaven

rt-bt: rotbuntes Niederungsvieh

s-bt: schwarzbuntes Niederungsvieh

Abb.4 (S.32) gibt analog Abb.3 (S. 26) anhand eines geologischen Lageplans Auskunft über die Probennahmestellen aus dem Raum Mechernich.

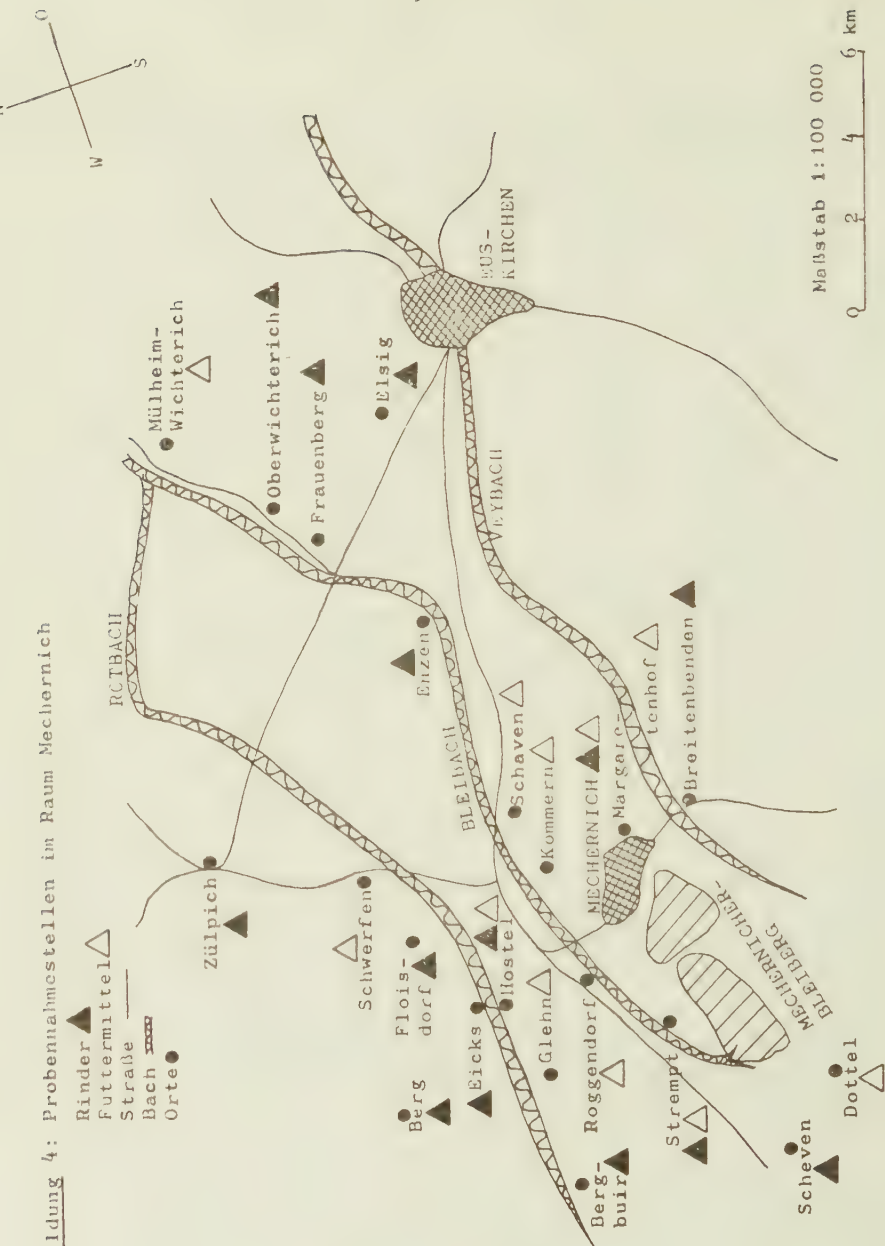


Abbildung 4: Probennahmestellen im Raum Meckernich

3.3. Aufbereitung der Proben zur Bestimmung des Gehaltes an Pb und Pb-210

Die Futtermittelproben wurden bei 100°C im Umlufttrockenschrank unter leichter Luftbewegung bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, mit einem Mixer (Braun Moulinette) zerkleinert und in PVC-Beuteln luftdicht verschweißt, gelagert.

Die Knochenproben (Schwanzwirbel) wurden zunächst mechanisch möglichst vollständig von anhaftender Muskulatur, Sehnen sowie Gelenkkapseln befreit, und bis zur Probenaufbereitung in PVC-Beuteln tiefgefroren, gelagert.

Probenaufbereitung für die Analyse

Reagentien: HNO_3 konz. suprapur

Ca-Träger: 5,0 g CaCO_3 , gelöst in 20 ml HCl
konz./1000 ml; 2 mg Ca^{2+} /ml

Ba-Träger: 7,58 g BaCl_2 /1000 ml; 5 mg Ba^{2+} /ml

Fe-Träger: 2,0 g FeCl_3 , gelöst in 10 ml HCl
konz./1000 ml; 0,7 mg Fe^{3+} /ml

Perhydrol, p.a.

1. 10g pflanzliches Material, bzw. 10 - 20 g Knochen werden in einem 1000 ml Becherglas mit dest. H_2O angefeuchtet, mit 20 ml konz. HNO_3 (suprapur), 10 ml Ca-, Ba- und Fe-Träger versetzt, unter Rühren kurz erhitzt und über Nacht stehen gelassen (beim Knochenaufschluß erübrigt sich die Zugabe von Ca-Träger). Dem Gemisch setzt man unter langsamem Erwärmen portionsweise 100 ml Perhydrol zu und engt dann die Lösung unter Rühren auf 50 ml ein.
2. Die Lösung wird durch ein nasses Faltenfilterpapier

(ϕ 15 cm) in einen 250 ml Meßkolben filtriert und mit wenig dest. H_2O nachgewaschen. Den Rückstand am Filter trocknet man in einer Quarzschale, verascht es vorsichtig im Muffelofen bei max. $450^\circ C$, nimmt den Rückstand in 5 ml INO_3 konz. (suprapur) unter Erwärmen auf, verdünnt mit H_2O und filtriert (Blaubandfilter) die Lösung gleichfalls in den 250 ml Meßkolben.

3. Nach Auffüllen des Meßkolbens auf 250 ml pipettiert man 10 ml der Probenlösung in ein gewogenes 100 ml Plastikfläschchen und ermittelt das Gesamtgewicht. Diese Lösung dient zur Bestimmung des Gehaltes an inaktivem Pb bzw. zur Ca-Bestimmung. Die restlichen 240 ml Probenlösung werden zur Bestimmung des Gehaltes an Pb-210 verwendet.

3.4. Bestimmung von Blei in biologischen Materialien

Quantitative Bestimmungen kleiner Mengen Pb wurden früher meist photometrisch mit der Dithiozon-Methode durchgeführt. Neuere Verfahren, die vor allen Dingen einen geringeren Arbeitsaufwand mit sich bringen, sind die Polarographie, die Röntgenfluoreszenz- und die Atomabsorptionsspektrometrie. Für die beiden erst genannten Methoden standen die apparativen Voraussetzungen nicht zur Verfügung. Deshalb wurden alle Pb-Bestimmungen mit der Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) durchgeführt, eine Methode, die als zuverlässig schnell und hinreichend genau gilt.

3.5. Bestimmung von Blei durch die AAS

Die AAS ist ein sehr selektives und empfindliches Analyseverfahren zur Bestimmung von Spurenelementen (HECHT 1975a). Atome im Grundzustand sind in der Lage, Licht sehr selektiv zu absorbieren. Dabei geht ein Elektron, bei gleichzeitiger Absorption eines Lichtquants, aus dem Grundzustand in einen

angeregten Zustand über (Resonanzabsorption). Die dafür erforderlichen, spezifischen Wellenlängen werden durch eine Hohlkathodenlampe aus dem untersuchten Element erzeugt, deren Licht durch eine Atomisierungsvorrichtung geführt wird, in die man die jeweilige Probe verbringt. Durch die im Grundzustand in der Atomisierungsvorrichtung befindlichen Atome erfährt durch diese Resonanzabsorption die Intensität der eingestrahlten Spektrallinie eine Schwächung. Diese Lichtschwächung erfolgt bei kleinen Konzentrationen proportional zur Anzahl der im Atomisator vorhandenen, nicht angeregten Atome; sie ist daher ein Maß für deren Konzentration.

Als Atomisierungsvorrichtung wurde bisher am häufigsten die Flamme verwendet. Ihre schlechte Atomisierungswirkung führte schon bald zur Suche nach Atomisatoren mit besserem Wirkungsgrad. Als Alternative boten sich vor allem flammenlose Vorrichtungen an.

3.5.1. Bleibestimmung mit der Flamme

Bei der Pb-Bestimmung mit der Flamme werden die Pb-Atome durch thermische Stoßdissaziation in den heißen Flammgasen einer Luft-Acetylen Flamme aus den Molekülen der kontinuierlich eingesaugten und in der Flamme zerstäubten Lösung erzeugt. Beim Durchlaufen des Lichtstrahles (Pb-Hohlkathodenlampe) tritt die beschriebene Absorption auf, die der gebildeten Atome proportional ist und zur Messung ausgenutzt wird (ZUBER 1972).

3.5.2. Bleibestimmung mit der Injektionsmethode

Dem Zerstäuber des Brenners wird die Probenlösung nicht wie üblich kontinuierlich, sondern in kleinen und definierten Portionen injiziert (SCHMIDT et al. 1975). Als Probenvolumen werden 0,25 ml mit einer Eppendorfpipette dem Probentrichter zugeführt.

Betriebsdaten:

Beckman-Atomabsorptionsspectralphotometer, Modell 1248

Zerstäuberflamme: Acetylen-Luft-Gemisch

Wellenlänge der Pb-Hohlkathodenlampe: 283,3 nm

Einbrennzeit 30 min.

Schreiber: "Beckman-10"-Record

Optimaler Meßbereich: 1 - 5 mg/l

3.5.3. Bleibestimmung mit der Massmann-Küvette

Die flammenlose AAS arbeitet nach dem gleichen physikalischen Prinzip wie die Flammenatomisierung; jedoch ist sie im Hinblick auf die Empfindlichkeit und der erforderlichen Probenmenge, der üblichen Flammen-AAS überlegen. Anstelle der Flamme wird ein elektrisch aufheizbares Graphitrohr in den Strahlengang gebracht. Nach Einpipetieren der Probe in den Graphitzylinder verdampft durch stufenweises Hochheizen des Graphits zunächst das Lösungsmittel und eventuelle organische Rückstände werden verascht; durch weiteres Erhöhen der Temperatur kommt es zur Atomisierung, während der die Messung erfolgt. Eventuelle Störungen durch breitbandige Molekülschwingspektren und andere störende physikalische Erscheinungen werden durch den Einsatz eines Deuteriumuntergrundkompensators beseitigt.

Betriebsdaten:

Massmann-Küvette Beckman, Modell GRM 1268

Trocknungstemperatur 100°C

Veraschungstemperatur 350°C

Atomisierungstemperatur 2300°C

optimaler Meßbereich: 0,05 - 1 mg/l

Eichung des Atomabsorptionsspektralphotometers

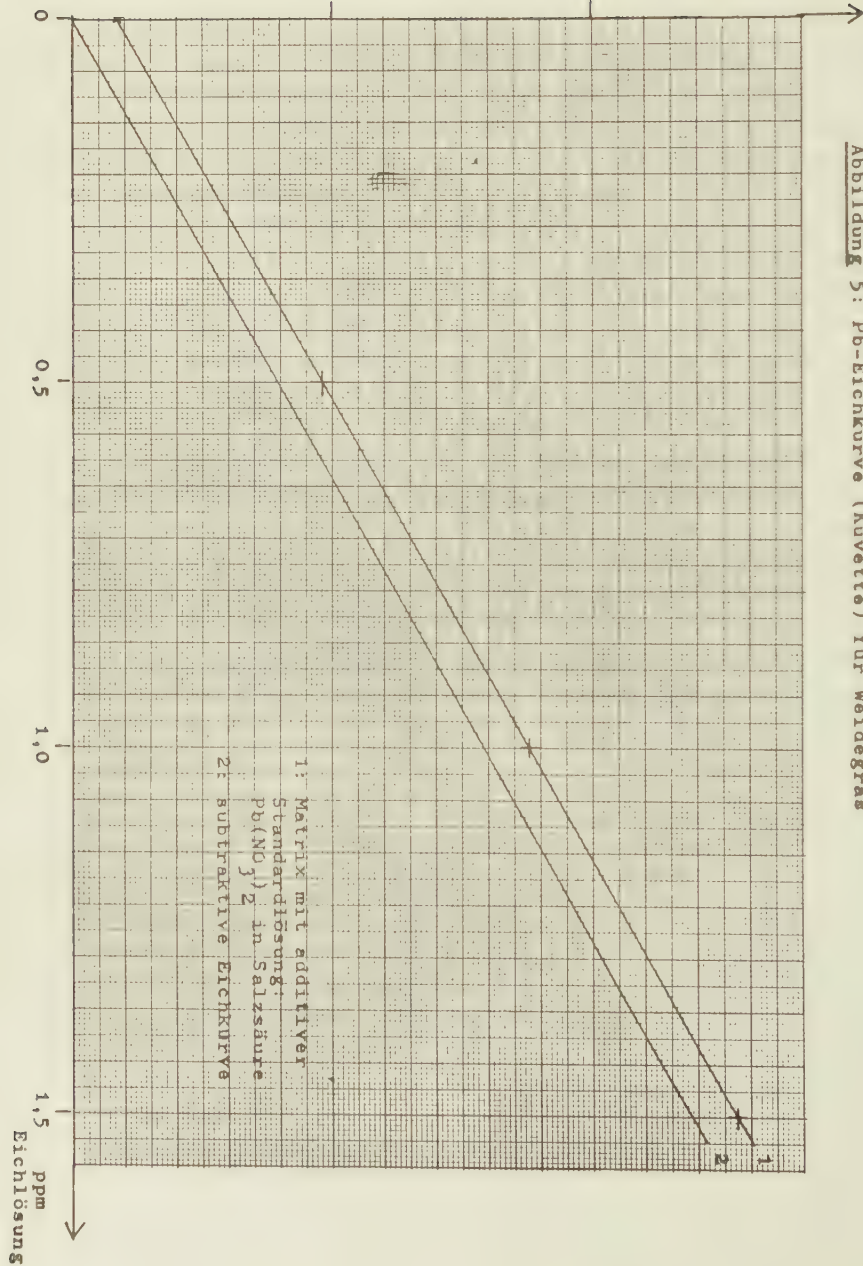
Die Eichung der Meßvorrichtung erfolgte mit drei Additionsstandards von gleicher Matrix wie die zu messenden Proben; der Zusatz betrug bei der Flamme 1, 2 und 3 ppm Pb, bei der Küvette 0,5, 1,0 und 1,5 ppm Pb. Für Knochen, Kraft-, Mineral-, Grünfütter und Getreideschrot wurden jeweils eigene Additionsstandards hergestellt. Die Stabilität der Geräte wurde nach ca 5 Messungen immer wieder mit Hilfe der Standards überprüft. Die Berechnung der Meßwerte erfolgte unter Korrektur eines entsprechenden Blindwertes für die Reagentien. Ein Beispiel für eine Eichkurve zeigt Abb.5 (S. 38) und zwar für Weidegras.

Aufschlußlösungen mit weniger als 1,5 ppm Pb-Gehalt wurden mit der Massmann-Küvette gemessen, die anderen Proben mit der Flamme; sowohl im kontinuierlichen als auch mit dem Injektionsverfahren.

Der methodische Fehler wurde durch Eichung mit dem Intercomparison Standard nach KALE korrigiert. Die Reproduzierbarkeit war bei allen drei Meßmethoden gut, die Genauigkeit lag bei $\pm 3 - 4\%$.

Sktl.;
Extinktion

Abbildung 5: Pb-Eichkurve (Küvette) für Weidegras



3.6. Bestimmung von Pb-210 mit Hilfe des Low-Level- B-Counters

Die radiochemische Bestimmung des Pb-210 erfolgte über die β -Aktivität des im radioaktiven Gleichgewicht befindlichen Wismut-210 (Bi-210) unter Verwendung eines Low-Level-B-Counters.

3.6.1. Radiochemische Reinigung (GIBSON 1961, HASL 1964)

Eine direkte Messung des natürlichen Gehaltes an Pb-210 in biologischem Material ist nur schwer möglich, da dessen β -Energie von 0,065 und 0,018 MeV und γ -Energie von 0,047 MeV meßtechnisch schlecht erfaßbar sind. Über das kurzlebige Tochterprodukt des Pb-210, das Bi-210, mit einer β -Energie von 1,17 MeV, kann im radioaktiven Gleichgewicht das Pb-210 verhältnismäßig leicht bestimmt werden (JAWOROWSKI 1969). Nach 10 Halbwertszeiten, das sind etwa 50 Tage, ist das radioaktive Gleichgewicht zu ca. 99,9% erreicht. Zu beachten ist die Bildung des Polonium-210 (Po-210), einem α -Strahler, der als Folgeprodukt von Bi-210 entsteht. Die α -Strahlen werden durch die auf das zu messende Präparat aufgebrachte Mylar-Folie weitgehend absorbiert, außerdem geht der Meßfehler durch die Eichung mit analog hergestellten Standardpräparaten als Korrektur in die Berechnung mit ein.

Reagentien: Pb-Träger: 3,196 g Pb (NO_3)₂ + 4 ml HNO_3 konz.,
suprapur/1000 ml; 2,0 mg Pb/ml

H_3PO_4 konz., p.a.

NH_3 konz., p.a.

Na_2CO_3 , p.a.

HCl, suprapur

Thymolblau; 20 mg in 100 ml 50% Methanol

H_2S -Bombe; Merk Nr. 823310

H_2SO_4 , suprapur

6 N Ammonazetat

Essigsäure konz., p.a.

CH_3OH , p.a.

Methylrot-Lösung: 50 mg in 100 ml 50% Methanol

Na_2CrO_4 -Lösung: 100 g/1000 ml

HCl, suprapur (1:1 verdünnt)

ADTA-Lösung: 100 g Dinatrium-ADTA/1000 ml

NiCl_2 -Lösung: 110 g NiCl_2 /1000 ml; 50 mg Ni^{2+} /ml

1. Den verbliebenen 240 ml der Aufschlußlösung setzt man 10 ml Pb-Träger (= 20 mg Pb) zu und mischt gut durch. Die Lösung wird zu gleichen Teilen in zwei, etwa gleichschwere 200 ml Zentrifugengläser unter Nachwaschen mit H_2O verteilt. Nach Zusatz von je 1 ml H_3PO_4 konz. wird vorsichtig mit konz. Ammoniak alkalisch gemacht (Universalindikatorpapier) und je 2 g Na_2CO_3 zugesetzt. Nach dem Erwärmen im Wasserbad läßt man etwas abkühlen, zentrifugiert (2 min., 2500 Upm) und verwirft den Überstand. Der Rückstand wird in 2 ml HCl konz. (bei Knochen 6 - 8 ml) gelöst, mit 100 ml dest. H_2O verdünnt, nochmals wie zuvor mit Ammoniaklösung alkalisiert, mit Na_2CO_3 gefällt und der Niederschlag abzentrifugiert. Den Überstand verwirft man. Der Rückstand wird dann mit H_2O nochmals ausgewaschen und abzentrifugiert.
2. Der Rückstand wird in 2 ml HCl konz. (bei Knochen 6 - 8 ml) unter Erwärmen im Wasserbad gelöst und mit 70 ml H_2O verdünnt. Diese Lösung wird tropfenweise mit Ammoniaklösung und Thymolblau als Indikator auf pH 2 - 2,5 eingestellt; dabei muß die Lösung klar bleiben. In die im Wasserbad erhitzte Lösung leitet man 5 Minuten H_2S ein und läßt sie in dem mit einem Uhrglas ver-

- geschlossenen Zentrifugenglas erkalten. Nach Absetzen des PbS wird zentrifugiert und der Überstand verworfen, der Rückstand mit etwas P_2O ausgewaschen und nochmals zentrifugiert.
3. Der Pb-Sulfidrückstand wird in 2,5 ml HCl konz. unter Erwärmen gelöst, vorsichtig 1,5 ml H_2SO_4 konz. zugegeben und 20 Minuten erhitzt. Anschließend gibt man 10 ml H_2O und 5 ml Äthanol zu. Nach Abkühlen zentrifugiert man das $PbSO_4$ ab. Der Niederschlag wird mit 5 ml H_2O ausgewaschen und nochmals zentrifugiert.
4. Man löst den $PbSO_4$ -Niederschlag in 7 ml Ammonazetat-Lösung, gibt 2 Tropfen Ammoniaklösung zu, erhitzt 10 Minuten und setzt unter Rühren 10 ml Ba-Träger und 2 Tropfen P_2SO_4 konz. zu. Das $BaSO_4$ wird scharf abzentrifugiert, der Überstand in ein 100 ml Zentrifugenglas abgossen und der $BaSO_4$ -Niederschlag nochmals mit 7 ml Ammonazetat ausgewaschen. Nach dem Zentrifugieren vereinigt man den Überstand mit dem der ersten Extraktion. Der Rückstand wird verworfen.
5. Zu den Überständen gibt man 2,5 ml Eisessig und neutralisiert gegen Methylrot (pH 5,5) mit Ammoniaklösung. Unter Rühren wird 1 ml Na_2CrO_4 -Lösung zugegeben, im Wasserbad 10 Minuten erhitzt, und solange stehen gelassen, bis sich der Niederschlag gut abgesetzt hat. Der Überstand wird nach dem Zentrifugieren verworfen.
6. Den Rückstand löst man in 5 ml verd. HCl (1:1), verdünnt auf 30 ml mit H_2O und setzt 1 ml EDTA-Lösung, sowie 3 ml Eisessig zu. Es wird mit Ammoniaklösung gegen Methylrot neutralisiert (pH 5,5), im leicht siedendem Wasserbad erhitzt und 1 ml Na_2CrO_4 -Lösung unter Rühren zugesetzt. Man läßt die heiße Lösung stehen bis sich

- der Niederschlag abgesetzt hat, kühlt und zentrifugiert scharf ab. Der Überstand wird in ein anderes 100 ml Zentrifugenglas abgegossen und der Rückstand verworfen.
7. Zu dem Überstand setzt man unter Rühren 1 ml NiCl_2 -Lösung zu und erhitzt im siedenden Wasserbad 20 Minuten. Man wartet, bis sich der Niederschlag klar abgesetzt hat.
 8. Der Niederschlag von PbCrO_4 wird auf ein gewogenes Filterblättchen (Selecta Filterpapier, Nr. 2040b, säuregewaschen) mit Hilfe einer Teflon-Nutsche filtriert, mit wenig CH_3OH nachgewaschen, kurz im Trockenschrank bei 60°C getrocknet und zur Ausbeutebestimmung zurückgewogen.
 9. Der Niederschlag wird mit etwas Kollodiumlösung auf dem Filterblättchen fixiert, mit einer dünnen Mylar-Folie abgedeckt und das Präparat auf einem Cu-Planchet montiert.

3.6.2. Eichung des Low-Level- β -Counters

Die Messungen wurden mit einem Low-Level- β -Counter (Modell RA 12, Intertechnique), der zwei Meßzellen besitzt, durchgeführt. Die Meßzellen sind innen von einer 1 cm dicken Schicht aus Kupfer sowie mit 10 cm Altblei umgeben. Durch eine Antikoinzidenzschaltung kann ein Leervert von etwa 0,6 Impulsen pro Minute (ohne Cu-Planchet) erreicht werden. Als Zählgas dient Geiger-gas (99,4% Helium + 0,6% i-Butan).

Zur Eichung und Korrektur der Selbstabsorption wurden Standards mit 4 bis 30 mg Pb-Träger und jeweils 5 ml eines verdünnten RaD-Standards (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig) hergestellt. Nach

Zusatz von 5 ml HCl (1:1) verdünnt man mit H₂O auf ca. 30 ml. Die weiteren Schritte entsprechen den Nrn. 6 bis 9 des radiochemischen Reinigungsverfahrens. Die Standardpräparate werden nach Einstellen des radioaktiven Gleichgewichts für das Bi-210 ($T_{\frac{1}{2}} = 5,0$ d) gemessen. Die Eigenaktivität der Chemikalien wird mit einem Meßpräparat mittlerer Schichtdicke korrigiert.

Die Zählraten wurden auf das gleiche Referenzdatum, unter Zugrundelegung der $T_{\frac{1}{2}}$ für Pb-210 von 22 a korrigiert. In Abhängigkeit von der Flächenbelægung der Präparate (in mg PbCrO₄) ergab sich für die Selbstabsorption, in dem normalerweise zu erwartenden Bereich für die Schichtdicke der Meßpräparate von etwa 4 - 30 mg PbCrO₄, eine annähernd lineare Beziehung zur Zählausbeute. Der Korrekturfaktor f für die Zählausbeute ($\frac{\text{cpm} \cdot 100}{\text{dpm}}$) wurde nach folgender Gleichung berechnet:

$f = - 0,3416 \cdot \text{mg PbCrO}_4 + 56,1151$; (cpm: Impulse pro Minute, dpm: Zerfälle pro Minute).

Für die Blindwerte wurde im Mittel ein Wert von 0,81 cpm ermittelt.

Die Prüfung auf die radiochemische Reinheit, d.h. die Abtrennung störender Fremdaktivitäten, erfolgte durch Zugabe einer definierten Menge eines RaD-Standards zu Knochenproben und Aufarbeitung nach dem zuvor angegebenen Verfahren. Nach Korrektur der Zählausbeute und Abzug der Eigenaktivität der Proben ergab sich eine Wiederfindungsrate von durchschnittlich 98,4% (Der methodische Fehler beläuft sich damit auf 1,6%).

Der statistische Zählfehler (E) mit 99 prozentiger Vertrauensgrenze läßt sich nach der Formel

$$E = 1,96 \left[\frac{N_1}{t_1} + \frac{N_2}{t_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

berechnen (RADIOLOGICAL HEALTH HANDBOOK 1960), wobei

N_1 = Zählrate der Probe pro Minute,

N_2 = Zählrate des Leerwerts pro Minute,

t_1 = Meßzeit in Minuten für die Probe und

t_2 = Meßzeit in Minuten für den Leerwert ist.

Der statistische Zählfehler betrug für alle Messungen im Mittel 4%.

3.7. Bestimmung des Calciumgehaltes

Als Kriterium für die Reproduzierbarkeit der Probenaufbereitung - um umständliche Trocknungs- bzw. Extraktionsverfahren zu vermeiden - diente der Calciumgehalt des Probenmaterials.

Der Gehalt an Calcium (Ca) in den Knochen wurde mit der AAS in der Flamme gemessen (optimaler Meßbereich: 2-12 mg/kg) und die Werte mit einem halbautomatischen, colorimetrischen Verfahren verglichen (ARNETH 1977). Die zweite Methode beruht auf der Bildung einer Ca-Verbindung mit einem Kresolphthaleinkomplex-Reagens (KPK) im alkalischen Medium. Dabei handelt es sich um eine spezifische Reaktion für Erdalkali-Ionen. Bei der Reaktion der Ca^{2+} -Ionen mit KPK entsteht eine rotviolette Verbindung, deren Absorptionsmaximum bei 775 nm liegt. In diesem Bereich gilt das Lambert-Beer'sche Gesetz, d.h., es besteht eine lineare Beziehung zwischen der Extinktion und der Konzentration an Ca^{2+} -Ionen. In der Analysenlösung soll ein Ca-Gehalt von 0,8-3,0 µg/ml vorliegen. Das Verfahren ist schnell durchführbar und zeigt eine gute Reproduzierbarkeit. Beide Methoden ergaben eine gute Übereinstimmung; die Abweichung betrug nicht mehr als $\pm 7\%$, bezogen auf die mit der Flamme gemessenen Werte.

4. ERGEBNISSE

Aus dem Raum Kulmbach wurden 57 Futtermittelproben und 30 Schwanzwirbelknochen von Rindern bis zur Altersgruppe von 96 Monaten auf den Gehalt an Pb und Pb-210 untersucht. Analoge Daten wurden an 77 Futtermittelproben aus dem bleischüssigen Gebiet um Mechernich (Eifel) und 45 Knochenproben von Tieren bis zur Altersgruppe von 144 Monaten erhoben.

4.1. Untersuchungen der Böden

Um einen Überblick über den Pb-Gehalt in Böden aus beiden untersuchten Gebieten zu bekommen, wurden einige Bodenproben untersucht. Über die Ergebnisse informiert pauschal Tab.8.

Tabelle 8: Pb-Gehalte (mg/kg TS) in Bodenproben aus den Räumen Kulmbach und Mechernich

Herkunft	n	$\bar{x}$	s	x _{min}	x _{max}
Kulmbach	6	40,5	10,7	26	54
Mechernich	21	7550	13500	315	58000

Wie zu entnehmen sind in den Pb-Gehalten der Böden aus den Räumen Kulmbach und Mechernich deutliche Unterschiede vorhanden. In den Bodenproben aus der Kulmbacher Gegend liegen sie zwischen 26 und 54 mg Pb/kg TS, in den Proben aus dem bleischüssigen Gebiet dagegen zwischen 315 und 58000 mg Pb/kg TS. Die Pb-Gehalte schwanken in der Umgebung von Kulmbach nicht stark, im Raum Mechernich jedoch erheblich, wie die Minimal- und Maximalwerte ausweisen.

Die Pb-Bestimmung in den Bodenproben erfolgte röntgenfluoreszenzspektrometrisch am Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen in Krefeld (Dr. Pfitzner).

Die Nachweisgrenze der Methode bewegt sich in Bodenproben bei 1,3 mg Pb/kg TS. Die Reproduzierbarkeit der Messungen betrug bei 54 mg Pb/kg $\pm 5,2\%$, bei 639 mg Pb/kg $\pm 0,43\%$ und bei 5804 mg Pb/kg $\pm 0,19\%$.

4.2. Untersuchungen der Futtermittel

Die Ergebnisse der Untersuchungen an Futtermitteln aus dem Raum Kulmbach sind für Pb in Tab.9 (S.46) und für Pb-210 in Tab.10 (S.47) zusammengefaßt. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit wurden für gleiche Futtermittelarten zum Mittelwert noch zusätzlich die Standardabweichung und die Minimal- und Maximalwerte angegeben.

Tabelle 9: Pb-Gehalte (mg/kg TS) von Futtermitteln aus dem Raum Kulmbach

Futtermittel	n	TS (%)	$\bar{x}$	s	$x_{\min}$	$x_{\max}$
Heu	5	86	2,34	0,86	1,71	3,68
Grummet	5	86	3,55	1,28	1,74	4,99
Stroh	4	86	1,95	0,54	1,17	2,42
Weidegras	17	16	1,76	0,93	0,65	3,63
Raps	2	17	0,56	0,11	0,48	0,63
Futterrüben	5	11	0,85	0,44	0,53	1,63
Maissilage	2	30	1,70	0,56	1,30	2,09
Grassilage	1	25	4,66	-	-	-
Getreideschrot	5	86	0,64	0,29	0,39	1,11

Kraftfutter	7	86	2,47	3,50	0,73	10,40
Mineralfutter	4	86	3,07	2,48	1,41	6,75

Tabelle 10: Pb-210-Gehalte (pCi/kg TS) von Futtermitteln
aus dem Raum Kulmbach

Futtermittel	$\bar{x}$	s	x min	x max
Heu	667	146	539	867
Grummet	760	169	475	904
Stroh	661	48	625	731
Weidegras	733	211	457	1280
Raps	506	145	403	608
Futterrüben	545	36	489	584
Maissilage	641	26	623	659
Grassialge	780	-	-	-
Getreideschrot	445	65	372	514

Kraftfutter	630	337	439	929
Mineralfutter	1720	316	1450	2170

Die entsprechenden Werte für die Futtermittel aus dem bleischüssigen Gebiet um Nechernich enthalten die nachstehenden Tabellen, Tab.11 die Pb-Gehalte, Tab.12 die Pb-210-Aktivitäten.

Tabelle 11: Pb-Gehalte (mg/kg TS) von Futtermitteln aus dem Raum Nechernich

Futtermittel	n	TS (%)	$\bar{x}$	s	$x_{\min}$	$x_{\max}$
Heu	5	86	23,40	27,00	2,46	74,30
Grummet	3	86	40,50	33,60	13,40	84,70
Stroh	8	86	22,80	35,50	3,05	108,00
Weidegras	17	16	136,00	293,00	1,94	1130,00
Raps	2	18	3,66	0,59	3,24	4,08
Futterrüben	10	11	128,00	218,00	3,68	710,00
Maissilage	3	30	19,20	15,10	4,98	35,00
Grassilage	2	25	33,70	39,60	5,68	61,70
Zuckerrüben- blattsilage	3	20	15,00	1,27	14,20	16,50
Trockenrüben- schnitzel	3	87	1,64	0,27	1,40	1,94
Getreideschrot	8	36	17,10	24,00	0,53	71,30
Kraftfutter	9	86	1,72	0,41	1,24	2,34
Mineralfutter	4	86	12,60	10,20	2,69	22,40

Tabelle 12: Pb-210-Gehalte (pCi/kg TS) von Futtermitteln aus dem Raum Mechernich

Futtermittel	$\bar{x}$	s	x min	x max
Heu	656	172	475	967
Grummet	1090	560	731	1760
Stroh	742	146	532	971
Weidegras	910	234	684	1480
Raps	634	222	477	791
Futterrüben	617	97	448	777
Maissilage	675	13	577	755
Grassilage	777	230	614	939
Zuckerrüben- blattsilage	1060	94	963	1150
Trockenrüben- schnitzel	458	35	436	498
Getreideschrot	449	65	353	568
Kraftfutter	555	76	479	698
Mineralfutter	3420	4050	637	9250

Die wirtschaftseigenen Futtermittel aus dem Raum Kulmbach weisen im Mittel über alle Futtermittelarten Pb-Gehalte von 0,39 - 4,99 mg Pb/kg TS auf. Die Kontamination von Kraftfutter und Mineralfutter wird von der örtlichen Pb-Belastung nicht beeinflusst; sie hängt vielmehr von den Pb-Gehalten der verwendeten Rohstoffe ab. Die sehr unterschiedliche Kontaminationssituation im Raum Mechernich spiegelt sich in der starken Schwankung der Pb-Gehalte der wirtschaftseigenen Futtermittel wider. Sie liegen zwischen 0,53 und 1130 mg Pb/kg TS.

Im Gegensatz zu den regional deutlich unterschiedlichen Pegeln der Pb-Kontamination der beiden Gebiete Kulmbach und Mechernich bestehen in den Pb-210-Aktivitäten keine signifikanten Unterschiede. In den betriebseigenen Futtermitteln aus dem Raum Kulmbach variieren die Pb-210-Werte von 372 bis 1280 pCi Pb-210/kg TS; in den Proben aus Mechernich und Umgebung zwischen 353 und 1760 pCi Pb-210/kg TS.

Die Pb-210-Aktivitäten von verfüttertem Kraft- und Mineralfutter in beiden Gebieten liegen zwischen 439 und 2170 pCi Pb-210/kg TS im Raum Kulmbach und zwischen 479 und 9250 pCi Pb-210/kg TS im Gebiet Mechernich.

Die Abb.6 und 7 (S.51) geben die prozentuale Häufigkeitsverteilung in den untersuchten Grasproben für Pb, die Abb.8 und 9 (S.52) für Pb-210 aus den Räumen Kulmbach und Mechernich wieder. Weidegras wurde stellvertretend für andere Futtermittel gewählt, weil davon mehr Proben als von den übrigen Futtermitteln vorhanden waren.

Die Abb.6 - 9 lassen erkennen, daß es sich sowohl für Pb als auch für Pb-210 um nicht symmetrisch verteilte Probenkollektive handelt. Die Verteilungen würden vermutlich besser durch den Medianwert und Streufehler oder den 95 %-Vertrauensbereich charakterisiert werden. Aus Vergleichsgründen und der besseren Übersichtlichkeit halber werden aber als Maß für die Streuung die Standardabweichungen angegeben.

Abbildung 6: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Pb-Gehalte in Grasproben aus dem Raum Kulmbach in mg/kg TS (n = 17) (Klassenintervall: 0,5 ppm)

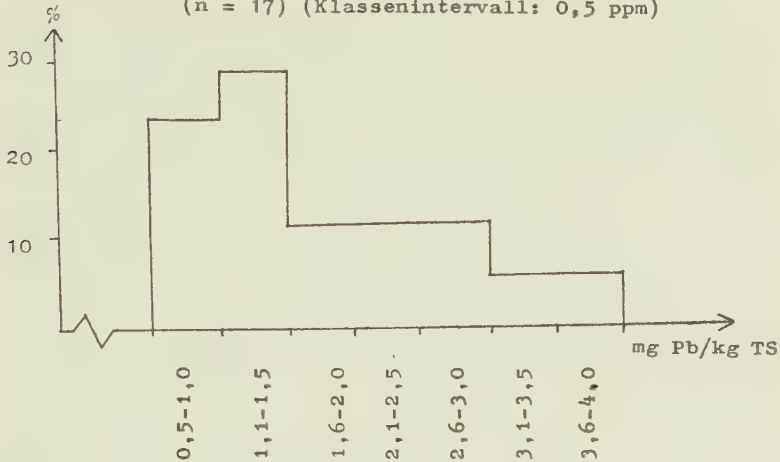


Abbildung 7: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Pb-Gehalte in Grasproben aus dem Raum Mechernich in mg/kg TS (n = 17) (Klassenintervall: 4 ppm)

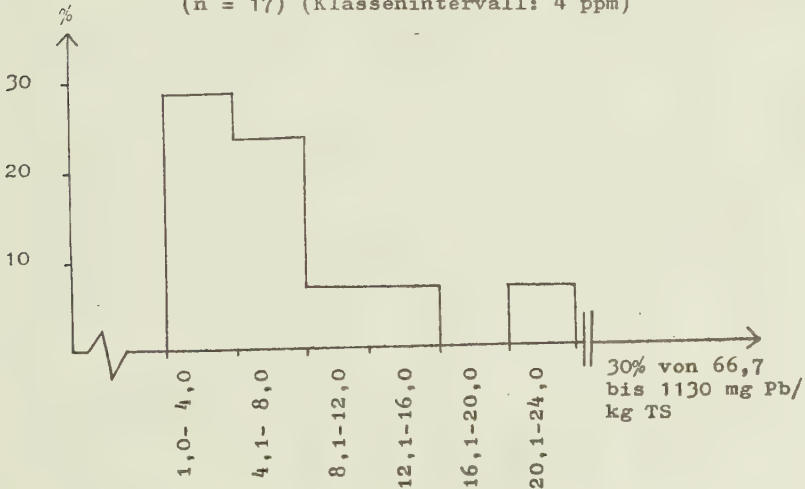


Abbildung 8: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Pb-210-Aktivitäten in Grasproben aus dem Raum Kulmbach in pCi/kg TS
(n = 17) (Klassenintervall: 150 pCi)

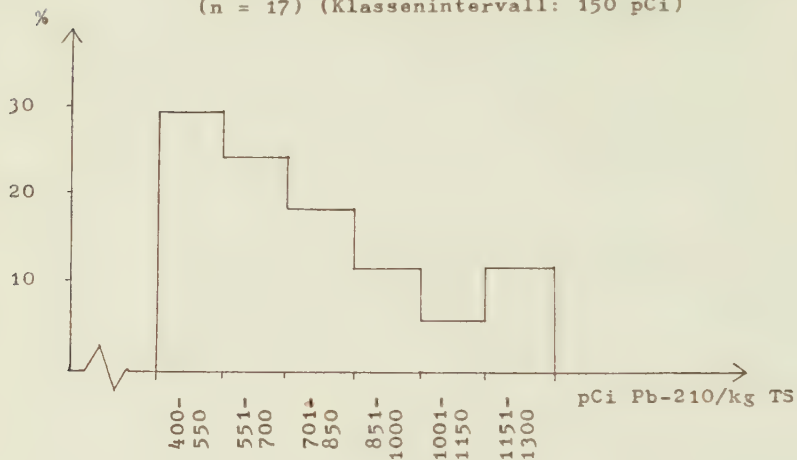
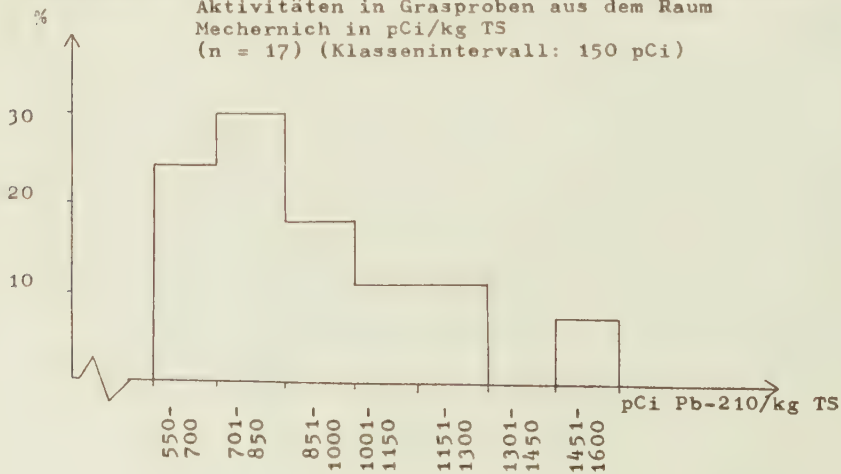


Abbildung 9: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Pb-210-Aktivitäten in Grasproben aus dem Raum Mechernich in pCi/kg TS
(n = 17) (Klassenintervall: 150 pCi)



Die signifikanten Unterschiede im Pb-Gehalt der Futtermittel bedingen in den Proben aus dem Raum Kulmbach wesentlich höhere spezifische Pb-210-Aktivitäten als in der Gegend um Mechemnich (s. Tab. 14, S. 54).

Tab. 13 informiert über die spezifischen Pb-210-Aktivitäten in Futtermitteln aus dem Raum Kulmbach.

Tabelle 13: Spezifische Pb-210-Aktivitäten (pCi Pb-210/g Pb) von Futtermitteln aus dem Raum Kulmbach
(Berechnet aus den arithmetrischen Mittelwerten der Einzelquotienten)

Futtermittel	$\bar{x} \cdot 10^3$	$s \cdot 10^3$	$x_{\min} \cdot 10^3$	$x_{\max} \cdot 10^3$
Heu	297	45,3	235	360
Grummet	229	58,2	165	278
Stroh	364	123	269	544
Weidegras	484	146	251	833
Raps	902	89,1	839	965
Futterrüben	734	251	358	1050
Maissilage	398	117	315	480
Grassilage	154	-	-	-
Getreideschrot	810	375	410	1280
Kraftfutter	563	187	480	925
Mineralfutter	844	558	221	1560

Aus Tab.14 sind die spezifischen Pb-210-Aktivitäten in Futtermitteln aus dem Raum Nechernich ersichtlich.

Tabelle 14: Spezifische Pb-210-Aktivitäten (pCi Pb-210/g Pb) von Futtermitteln aus dem Raum Nechernich (Berechnet aus den arithmetrischen Mittelwerten der Einzelquotienten)

Futtermittel	$\bar{x} \cdot 10^3$	$s \cdot 10^3$	$x_{\min} \cdot 10^3$	$x_{\max} \cdot 10^3$
Heu	88,7	81,4	6,92	249
Grummet	46,5	34,0	9,23	75,7
Stroh	107	79,1	5,85	229
Weidegras	130	116	0,79	360
Raps	171	33,2	147	194
Futterrüben	37,1	37,9	1,09	122
Maissilage	66	64,5	16,50	139
Grassilage	61,6	65,6	15,20	108
Zuckerrüben- blattsilage	70,4	83,2	68,00	73,7
Trockenrüben- schmitzel	284	51,0	225	314
Getreideschrot	144	224	5,87	680
Kraftfutter	345	38,7	227	472
Mineralfutter	430	500	34,60	1140

Die spezifischen Pb-210-Aktivitäten liegen in wirtschafts-eigenen Futtermitteln aus dem Raum Kulmbach zwischen $165 \cdot 10^3$ und $1230 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb, bei Kraft- und Mineralfutter zwischen $221 \cdot 10^3$ und $1560 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb; in den Proben aus der Gegend um Nechernich dagegen zwischen $0,79 \cdot 10^3$ und $676 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb in wirtschaftseigenen Futtermitteln und zwischen $34,6 \cdot 10^3$ und $1140 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb in Kraft- und Mineralfutter.

4.3. Untersuchungen von Rinderknochen

Inkorporiertes Pb wird vorzugsweise im Knochen und in der Leber deponiert. Aus untersuchungstechnischen Überlegungen waren als Probenmaterial die Schwanzwirbelknochen analysiert worden.

Die Schwanzwirbelknochen wurden nach Entfernung anhaftenden Fleisch- und Fettgewebes unmittelbar für die Analyse eingewogen.

Als Kriterium für die Reproduzierbarkeit der Probenaufbereitung diente der Ca-Gehalt des Probenmaterials.

Tab.15 gibt Aufschluß über die Ca-Gehalte der Schwanzwirbelknochen von Rindern aus den Räumen Kulmbach und Mechernich. Zur Feststellung eventuellen Einflusses des Alters auf den Ca-Gehalt im Knochen werden in der Tab. die Angaben nach 3 Altersstufen (<18 , $19-27$, >28 Monate) aufgeschlüsselt.

Tabelle 15: Calciumgehalte (g/kg Fg) in Schwanzwirbelknochen von Rindern verschiedener Altersgruppen aus den Räumen Kulmbach und Mechernich

Alter (Monate)	n	$\bar{x}$	s	x min	x max
<u>Kulmbach</u>					
bis 18	7	100	7,86	93,0	114
19 - 27	9	95,5	13,70	74,3	114
über 28	14	105	14,10	77,6	125
	30	101	13,0		
<u>Mechernich</u>					
bis 18	12	90,3	15,3	69,5	120
19 - 27	22	104	13,2	76,5	123
über 28	11	116	15,2	92,0	140
	45	103	16,9	69,5	140

Nach Tab.15 besteht in den Ca-Gehalten der Schwanzwirbelknochen von Rindern aus dem Raum Mechernich eine gewisse altersbedingte Abhängigkeit, doch unterscheiden sich die Ca-Mittelwerte nicht wesentlich von den Proben aus dem Gebiet um Kulmbach. Demnach ist das angewandte Verfahren der Probenaufbereitung mit keinem gravierenden systematischen Fehler behaftet.

In der Tab.16 (S.57) sind die Gehalte an Pb, Pb-210 und die spezifischen Pb-210-Aktivitäten der untersuchten Schwanzwirbelknochen der Tiere aus der Gegend um Kulmbach und in Tab.17 (S.58) aus dem Raum Mechernich im Detail wiedergegeben.

Taballe 16: Gehalte an Pb und Pb-210 sowie die spezifischen Pb-210-Aktivitäten in Schwanzwirbelknochen (Rind) aus dem Raum Kulmbach

Tier-Nr.	mg Pb/ kg Fg	pCi Pb-210/ kg Fg	10^3 pCi Pb-210/g Pb
1	1,75	349	199
2	4,80	594	124
3	1,23	494	401
4	1,05	343	326
5	1,85	497	269
6	1,63	462	284
7	1,58	363	230
8	3,04	424	139
9	1,69	293	173
10	1,05	481	458
11	1,32	339	257
12	1,80	408	227
13	1,48	365	246
14	1,03	363	353
15	1,29	297	230
16	3,31	471	142
17	1,58	430	272
18	1,14	591	519
19	2,36	342	145
20	1,88	291	155
21	1,70	296	174
22	1,35	688	510
23	3,17	903	285
24	1,96	427	218
25	1,08	338	313
26	2,62	540	206
27	1,77	415	235
28	1,97	410	208
29	1,33	450	338
30	3,48	374	108

Tabelle 17: Gehalte an Pb und Pb-210 sowie die spezifischen Pb-210-Aktivitäten in Schwanzwirbelknochen (Rind) aus dem Raum Nechernich

Tier-Nr.	mg Pb/ kg Fg	pCi Pb-210/ kg Fg	10^3
			pCi Pb-210/g Pb
31	19,10	387	20,3
32	45,80	388	8,47
33	2,42	356	147,0
34	23,30	439	18,8
35	28,60	371	13,0
36	15,70	685	43,8
37	17,50	574	32,8
38	5,76	270	46,8
39	6,79	461	67,9
40	17,30	449	25,9
41	18,90	450	23,9
42	23,50	505	21,5
43	21,00	466	22,2
44	34,60	413	12,0
45	21,80	568	16,6
46	38,90	645	14,8
47	32,80	647	19,7
48	53,90	700	13,0
49	58,00	694	12,0
50	60,60	730	12,1
51	48,70	686	14,1
52	31,10	480	15,4
53	77,70	456	5,86
54	40,80	493	12,1
55	17,00	427	25,1
56	16,60	413	25,2
57	21,10	344	16,3

Fortsetzung von Tab.17

Tier-Nr.	mg Pb/ kg Fg	pCi Pb-210/ kg Fg	10^3 pCi Pb-210/g Pb
58	3,24	267	82,3
59	1,18	426	361,0
60	21,20	362	17,1
61	37,00	546	14,8
62	22,70	513	22,0
63	13,20	425	32,1
64	26,90	556	20,6
65	12,30	443	36,0
66	5,97	460	77,0
67	11,80	414	35,0
68	3,36	404	120,0
69	5,46	415	76,1
70	2,25	317	140,0
71	5,34	417	78,0
72	28,60	438	15,3
73	3,45	452	131,0
74	26,20	397	15,2
75	34,40	473	13,7

Die Pb-Gehalte in Schwanzwirbelknochen der Rinder aus dem Raum Kulmbach betrugen zwischen 1,03 und 4,80 mg Pb/kg Fg, die Pb-210-Aktivitäten zwischen 291 und 903 pCi Pb-210/kg Fg, bei Bezug der Pb-210-Aktivitäten auf g stabiles Pb (spez. Aktivität) zwischen $108 \cdot 10^3$ und $519 \cdot 10^3$ pCi.

Die Pb-Gehalte der Schwanzwirbelknochen für Tiere aus dem Gebiet um Mechernich lagen zwischen 1,18 und 77,7 mg Pb/kg Fg, die Pb-210-Aktivitäten zwischen 267 und 730 pCi/kg Fg. Die

spezifischen Pb-210-Aktivitäten bewegten sich zwischen $5,86 \cdot 10^3$ und $361 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g stabilem Pb.

Eine vergleichende Betrachtung der Daten aus Tab.16 und 17 zeigt, daß die Pb-Gehalte in den Schwanzwirbelknochen der Rinder aus dem Raum Mechernich im Schnitt um ein Mehrfaches höher liegen als bei Schwanzwirbelknochen der Tiere aus der Umgebung von Kulmbach; die Maximalwerte z. B. um den Faktor 16. Dagegen bestehen in den Pb-210-Aktivitäten beider Tierkollektive kaum Unterschiede. Sie sind bei den Tieren aus dem Raum Mechernich im allgemeinen etwas höher. Die Maximalwerte differieren nur um 20%. Bei Bezug der Pb-210-Aktivitäten auf den stabilen Pb-Gehalt im Knochen existieren recht erhebliche Differenzen.

Zur Darstellung eventueller altersbedingter Unterschiede im Gehalt an Pb und Pb-210 der Schwanzwirbelknochen wurden die Tiere aus beiden Gebieten in den Tab.18 und 19 (S. 61 u. S. 62) in die gleichen drei Altersgruppen wie in der Tab.15 (S. 55) zusammengefaßt. Die Tab.18 und 19 geben neben den Mittelwerten auch die Standardabweichungen und die Minimal- und Maximalwerte wieder.

Tabelle 18: Pb-Gehalte (mg/kg Fg) in Schwanzwirbellknochen von Rindern verschiedenen Alters

Alter (Monate)	n	$\bar{x}$	s	x min	x max
<u>Kulmbach</u>					
bis 18	7	1,43	0,30	1,05	1,85
19 - 27	9	1,53	0,35	1,05	1,97
über 28	14	2,40	1,06	1,03	4,80
	30	1,91	0,88		
<u>Mechernich</u>					
bis 18	12	17,6	19,9	1,18	60,6
19 - 27	22	23,7	14,6	3,45	58,0
über 28	11	30,2	19,5	6,79	77,7
	45	23,6	17,6		

Zwischen den Pb-Gehalten der Schwanzwirbellknochen der Rinder aus den Räumen Kulmbach und Mechernich bestehen deutliche Unterschiede. Die Schwanzwirbellknochen der Tiere aus dem Kulmbacher Gebiet enthielten im Schnitt 1,91 mg Pb/kg Fg, die aus dem Raum Mechernich dagegen mit 23,6 mg Pb/kg Fg ein Vielfaches der Pb-Gehalte der Knochen der Tiere aus der Gegend um Kulmbach. Innerhalb der beiden Tierkollektive steigen in den Schwanzwirbellknochen die Gehalte an Pb mit zunehmendem Alter an.

Tabelle 19: Pb-210-Gehalte (pCi Pb-210/kg Fg) in
Schwanzwirbelknochen von Rindern verschiedenen
Alters

Alter (Monate)	n	$\bar{x}$	s	$x_{\min}$	$x_{\max}$
<u>Kulmbach</u>					
bis 18	7	475	137	296	688
19 - 27	9	382	64,7	293	462
über 28	14	449	155	291	903
	30	435	131		
<u>Mechernich</u>					
bis 18	12	455	136	267	730
19 - 27	22	471	117	270	700
über 28	11	491	81,2	387	645
	45	472	113		

Bei den Tieren aus dem Raum Kulmbach besteht offensichtlich kein Zusammenhang zwischen dem Alter der Rinder und den Pb-210-Aktivitäten in ihren Schwanzwirbelknochen; bei den Tieren aus dem Raum Mechernich scheint eine derartige Beziehung jedoch andeutungsweise vorhanden.

Die Prüfung eventueller altersbedingter Unterschiede in den Pb-Gehalten der Schwanzwirbelknochen von Rindern aus dem Räumen Kulmbach und Mechernich auf Signifikanz erfolgte mittels t-Test (student). Das Ergebnis gibt Tab.20 wieder.

Tabelle 20: Signifikanz der Pb-Werte in Schwanzwirbelknochen (Rind) zwischen den einzelnen Altersgruppen aus den Räumen Kulmbach und Mechernich

Alter (Monate)	Mechernich		
	bis 18	19 - 27	über 28
Kulmbach			
bis 18	x	xxx	xx
19 - 27	x	xxx	xxx
über 28	xx	xxx	xxx

x bedeutet eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%
 xx " " " " 1%
 xxx " " " " 0,1%

Aus Tab.20 ist zu entnehmen, daß sich die Pb-Gehalte der Schwanzwirbelknochen von Rindern aus den Räumen Kulmbach und Mechernich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% signifikant voneinander unterscheiden.

Keine Signifikanz bestand dagegen zwischen den Pb-210-Aktivitäten der Schwanzwirbelknochen bei Rindern beider Gebiete. Das gleiche trifft auch für die Unterschiede der Pb-210-Aktivitäten innerhalb der Altersklassen zu. Auf eine tabellarische Darstellung wurde deshalb verzichtet.

Zur detaillierten Betrachtung sind die prozentualen Häufigkeitsverteilungen von Pb in Schwanzwirbelknochen der Tiere aus dem Raum Kulmbach graphisch in Abb.10 (S. 64) und für Rinder aus der Gegend um Mechernich in Abb.11 (S. 64) dargestellt. Die Abb.12 und 13 geben Aufschluß über die prozentuale Häufigkeitsverteilung der Pb-210-Aktivitäten in den Schwanzwirbelknochen der Tiere; Abb.12 (S. 65) für die Rinder aus dem Raum Kulmbach und Abb.13 (S. 65) für die aus der Umgebung von Mechernich.

Abbildung 10: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Pb-Gehalte in Schwanzwirbelknochen von Rindern aus dem Raum Kulmbach in mg/kg Fg (n = 30) (Klassenintervall: 0,5 ppm)

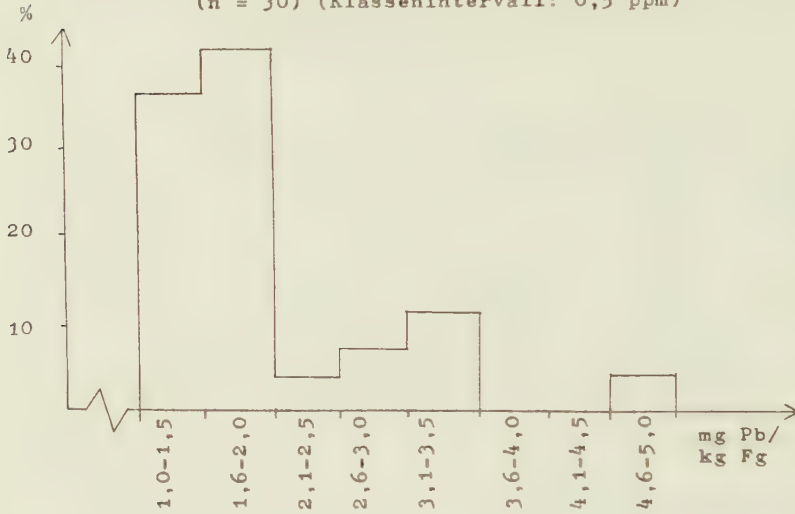


Abbildung 11: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Pb-Gehalte in Schwanzwirbelknochen von Rindern aus dem Raum Mechnich in mg/kg Fg (n = 45) (Klassenintervall: 10 ppm)

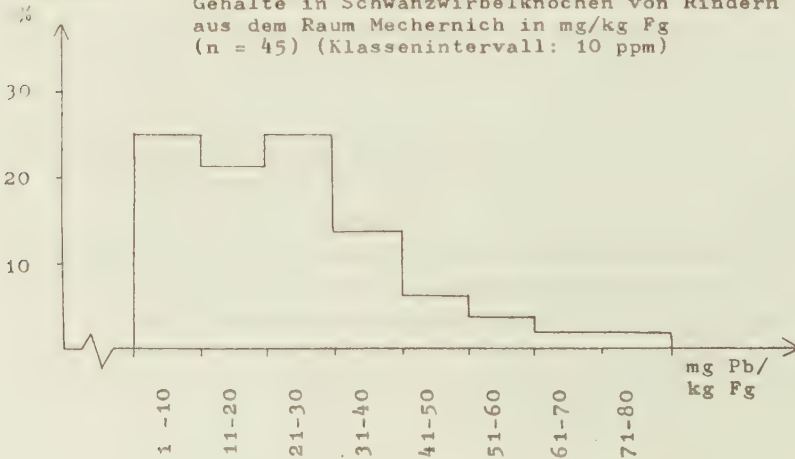


Abbildung 12: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Pb-210-Aktivitäten in Schwanzwirbelknochen von Rindern aus dem Raum Kulmbach in pCi/kg Fg (n = 30) (Klassenintervall: 100 pCi)

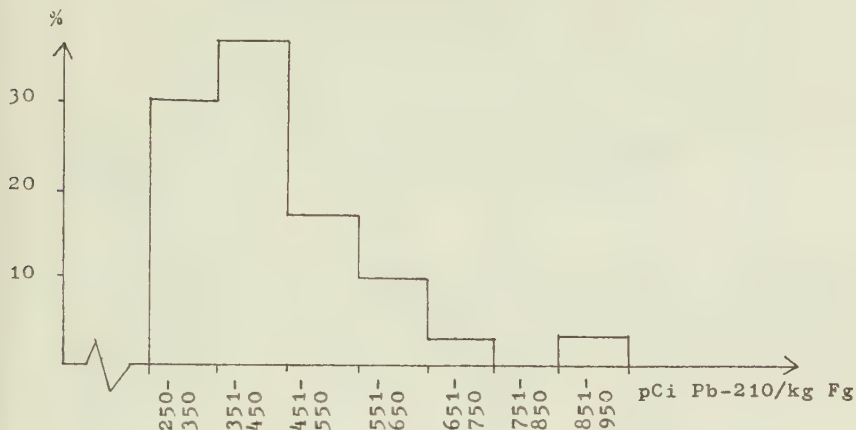
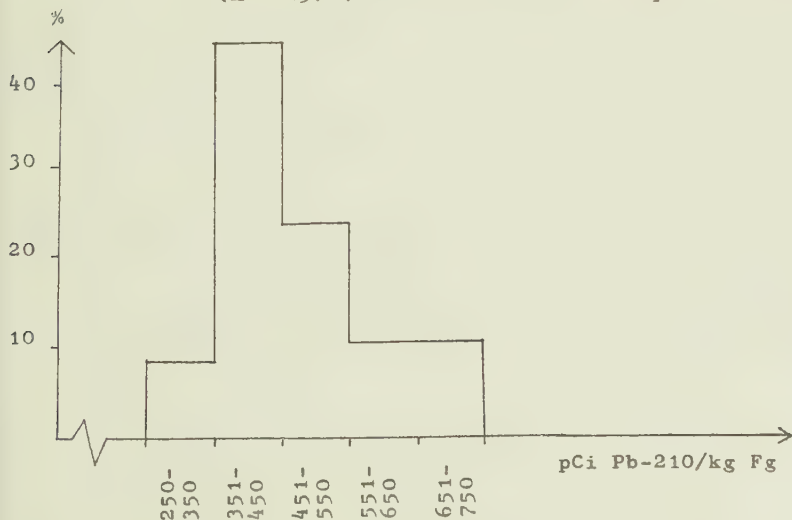


Abbildung 13: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Pb-210-Aktivitäten in Schwanzwirbelknochen von Rindern aus dem Raum Mechernich in pCi/kg Fg (n = 45) (Klassenintervall: 100 pCi)



Die Abb.10 - 13 zeigen, daß weder die Pb-Gehalte noch die Pb-210-Aktivitäten symmetrisch verteilt sind. Ähnliches war auch schon bei den aus beiden Gebieten untersuchten Grasproben festgestellt worden. Auch bei einer Reihe toxischer, nicht essentieller Elemente in anderen Probenkollektiven wurden nicht symmetrische Verteilungen angetroffen (HECHT und MIRNA 1975b).

Die spezifischen Pb-210-Aktivitäten in den Schwanzwirbelknochen der Rinder aus den Räumen Kulmbach und Mechernich sind, unterteilt nach den 3 Altersklassen (< 18; 19 - 27; >28 Monate), in Tab.21 (S.67) zusammengefaßt.

Tabelle 21: Spezifische Pb-210-Aktivitäten (pCi Pb-210/g Pb) in Schwanzwirbelknochen (Rind) in Abhängigkeit vom Alter der Tiere aus den Räumen Kulmbach und Mechernich

Alter (Monate)	n	$\bar{x} \cdot 10^3$	$s \cdot 10^3$	$x_{\min} \cdot 10^3$	$x_{\max} \cdot 10^3$
<u>Kulmbach</u>					
bis 18	7	351	140	174	519
19 - 27	9	258	58,5	173	338
über 28	14	211	87,4	108	401
	30	258	108		
<u>Mechernich</u>					
bis 18	12	78,4	99,6	12,1	361
19 - 27	22	31,8	29,1	12,0	131
über 28	11	24,0	16,6	5,86	67,9
	45	42,3	56,8		

Wie Tab.21 ausweist, differieren die spezifischen Pb-210-Aktivitäten in Knochen aus den Räumen Kulmbach und Mechernich erheblich. Knochen von Rindern aus dem Gebiet Kulmbach enthielten im Mittel $258 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb gegenüber nur $42,3 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb bei Tieren aus dem Raum Mechernich. Die spezifischen Pb-210-Aktivitäten unterscheiden sich um etwa den Faktor 6 und sind die Folgeder recht unterschiedlichen Pb-Gehalte in den Schwanzwirbelknochen der Rinder beider Gebiete. Sie enthielten im Raum Kulmbach im Schnitt nur 1,91 mg Pb/kg Fg gegenüber 23,6 mg Pb/kg Fg in der Umgebung von Mechernich. Die Tab.21 läßt außerdem erkennen, daß sich in beiden Gebieten die spezifische Pb-210-Aktivität der Knochen mit zunehmendem Alter der Tiere verringert.

4.4. Ermittlung der Gesamtfutterraufnahme

Als Grundlage für die Berechnung der Gesamtfutterraufnahme und -zufuhr dienten Angaben von KOLB und GÜRTLER (1971) sowie aus der BAYERISCHEN LANDESANSTALT für Tierzucht in Grub (1972). In ihnen ist die tägliche Futterraufnahme einer Kuh von 600 kg Gewicht mit 15 kg TS angegeben, für Mast-rinder von 500 kg Gewicht mit ca. 10 kg TS. Diese Angaben wurden auch den eigenen Berechnungen zugrunde gelegt. Über die Zusammenstellung der täglichen Futterration und die Fütterung der Tiere im Sommer- und Winterhalbjahr wurden die Tierbesitzer befragt. Auf diesen Daten basieren die Tab.22 - 25. Es wurde zwischen Winter- und Sommerfütterung sowie Kühen und Jungbullen differenziert. Der Bezug der Futtermittelmenge erfolgte jeweils auf kg Frischgewicht bzw. Trockensubstanz.

Tab.22 (S. 69) gibt Aufschluß über die täglichen Pb- und Pb-210-Gehalte in den mittleren Futtermittelrationen für Kühe, Tab.23 (S. 70) für Jungbullen aus dem Raum Kulmbach, Tab.24 (S. 71) für Kühe und Tab.25 (S. 72) für Jungbullen aus dem Gebiet um Mechernich.

Tabelle 22: Pb- und Pb-210-Gehalte der mittleren Futter-
mittelrationen von Kühen aus dem Raum Kulmbach
bei Winter- und Sommerfütterung

Winterfütterung

Futtermittel	Futtermittelmenge je Tier und Tag		tägliche Gesamtzufuhr an Pb und Pb-210	
	Fg (kg)	TS (kg)	Pb (mg)	Pb-210 (pCi)
Heu	4	3,44	8,04	2294
Stroh	1	0,86	1,68	568
Futterrüben	50	5,60	4,76	3052
Grassilage	10	2,50	11,70	1950
Getreideschrot	1	0,86	0,55	383
Kraftfutter	2	1,72	4,25	1084
Mineralfutter	0,1	0,10	0,31	172
Gesamt	68,1	15,08	31,29	9503

Sommerfütterung

Weidegras	70,0	11,2	19,70	8210
Heu	1,0	0,86	2,01	574
Stroh	0,5	0,43	0,84	284
Getreideschrot	1,0	0,86	0,55	383
Kraftfutter	2,0	1,72	4,25	1084
Mineralfutter	0,1	0,1	0,31	172
Gesamt	74,6	15,17	27,66	10707

Tabelle 23: Pb- und Pb-210-Gehalte der mittleren Futter-
mittelrationen von Jungbullen aus dem Raum Kulmbach bei Winter- und Sommerfütterung

Winterfütterung

Futtermittel	Futtermittelmenge je Tier und Tag		tägliche Gesamtzufuhr an Pb und Pb-210	
	Fg (kg)	TS (kg)	Pb (mg)	Pb-210 (pCi)
Maissilage	12,0	3,60	6,12	2308
Futterrüben	30,0	3,56	2,86	1831
Heu	0,5	0,43	1,01	287
Getreideschrot	2,0	1,72	1,10	765
Kraftfutter	0,5	0,43	1,06	271
Gesamt	45,0	9,54	12,15	5462

Sommerfütterung

Weidegras	50,0	8,0	14,1	5864
Getreideschrot	2,0	1,72	1,1	765
Gesamt	52	9,54	15,20	6629

Die Tabellen zeigen, daß Kühe aus dem Raum Kulmbach während der Winterfütterung mit Grassilage und Heu, im Sommer mit Weidegras und Heu das meiste Pb aufnehmen. Zur Pb-210-Aufnahme tragen im Winter vor allem Futterrüben und Heu bei, im Sommerhalbjahr Weidegras und Kraftfutter.

Jungbullen aus der Kulmbacher Gegend inkorporieren Pb und Pb-210 im Winter vor allem mit Maissilage und Futterrüben, im Sommer mit dem Weidegras.

Tabelle 24: Pb und Pb-210-Gehalte der mittleren Futtermittel-
rationen von Kühen aus dem Raum Mechnich bei
Winter- und Sommerfütterung

Winterfütterung

Futtermittel	Futtermittelmenge je Tier und Tag		tägliche Gesamtzufuhr	
	Fg (kg)	TS (kg)	Pb (mg)	Pb-210 (pCi)
Heu	4	3,44	80,5	2257
Stroh	1	0,86	19,6	638
Futterrüben	50	5,60	716,8	3455
Grassilage	10	2,50	84,3	1943
Getreideschrot	1	0,86	14,7	386
Kraftfutter	2	1,72	2,96	955
Mineralfutter	0,1	0,10	1,26	342
Gesamt	68,1	15,08	920,12	9976

Sommerfütterung

Weidegras	80,0	12,80	1740,8	11648
Kraftfutter	2,5	2,15	3,7	1193
Mineralfutter	0,1	0,10	1,26	342
Gesamt	82,6	15,05	1745,86	13178

Tabelle 25: Pb- und Pb-210-Gehalte der mittleren Futter-
mittellrationen von Bullen aus dem Raum von
Meckernich bei Winter- und Sommerfütterung

Winterfütterung

Futtermittel	Futtermittelmenge je Tier und Tag		tägliche Gesamtzufuhr an Pb und Pb-210	
	Fg (kg)	TS (kg)	Pb (mg)	Pb-210 (pCi)
Maissilage	12,0	3,60	69,1	2430
Futterrüben	30,0	3,36	430,1	2073
Heu	0,5	0,43	10,1	282
Getreideschrot	2,0	1,72	29,4	772
Kraftfutter	0,5	0,43	0,74	239
Gesamt	45,0	9,54	539,44	5796

Sommerfütterung

Weidegras	60	9,6	1306	8736
-----------	----	-----	------	------

Die Tab.24 und 25 lassen erkennen, daß Kühe aus dem Raum Meckernich Pb im Winter zu etwa 75 % mit Futterrüben aufnehmen, im Sommer mit dem Weidegras. Pb-210 gelangt während der Winterfütterung am meisten über Futterrüben, Heu und Grassilage, im Sommerhalbjahr über das Weidegras in die Tiere.

Jungbullen dieses Raumes nehmen Pb bei Winterfütterung sogar zu knapp 80 % im Futterrübenanteil ihrer Futterration auf, im Sommer bei Weidegang praktisch nur mit dem Weidegras. Pb-210 wird von ihnen im Winter vor allem über Maissilage und Futterrüben inkorporiert, im Sommer wie Pb nur über Weidegras.

Die Differenzen in den Pb- und Pb-210-Aufnahmen der Rinder beider Gebiete erklären sich in erster Linie durch Unterschiede in der Zusammensetzung der Futterrationen (Raum Kulmbach: Stallhaltung ganzjährig; Raum Mechernich: Sommer Weidegang) und den unterschiedlichen Pb- und Pb-210-Gehalten im Futter der Tiere aus den Räumen Kulmbach und Mechernich.

Der besseren Übersichtlichkeit halber sind in Tab.26 (S.74) die durchschnittlichen Pb- und Pb-210-Aufnahmen aus den Tab.22-25 für die Rinder aus den Räumen Kulmbach und Mechernich nochmals zusammengefaßt. Aus dem gleichen Grund wurden als Bezugsgrößen für Pb und Pb-210 jeweils mg bzw. pCi pro kg Fg bzw. TS gewählt.

Tabelle 26: Durchschnittliche Aufnahme von Pb und Pb-210 mit dem Futter bei Kühen und Bullen aus den Räumen Kulmbach und Mechernich bei Winter- und Sommerfütterung

<u>Herkunft</u>	<u>Jahreszeit</u>	Durchschnittliche Aufnahme an Pb und Pb-210			
		Pb		Pb-210	
<u>Tierart</u>		mg/kg Fg	mg/kg TS	pCi/kg Fg	pCi/kg TS
<u>Kulmbach</u>					
Kuh	Winter	0,46	2,07	140	630
	Sommer	0,37	1,82	144	706
Bulle	Winter	0,27	1,27	121	573
	Sommer	0,29	1,59	127	695
$\bar{x}$		0,35	1,69	133	651
<u>Mechernich</u>					
Kuh	Winter	13,5	61,0	146	662
	Sommer	21,1	116,0	159	876
Bulle	Winter	12,0	56,5	129	608
	Sommer	21,8	137,0	146	910
$\bar{x}$		17,1	92,4	145	764

Der Tab.26 ist zu entnehmen, daß die Rinder aus Kulmbach pro kg Futter im Schnitt 0,35 mg Pb, bezogen auf Fg bzw. 1,69 mg Pb in Bezug auf TS-Aufnahme, die Tiere aus dem Raum Mechernich 17,1 mg Pb/kg Fg bzw. 92,4 mg Pb/kg TS aufnehmen. Der Unterschied in den Pb-210-Aktivitäten ist dagegen weit weniger deutlich. Mit dem Futter nehmen die Tiere aus dem Raum Kulmbach im Mittel 651 pCi, die Rinder aus der Mechernicher Umgebung 764 pCi/kg TS auf.

Über die durchschnittlichen spezifischen Pb-210-Aktivitäten in den Futtermittelrationen der Rinder aus den Räumen Kulmbach und Mechernich gibt Tab.27 Auskunft. Sie wurden aus den arithmetischen Mittelwerten der Einzelwerte der spezifischen Pb-210-Aktivitäten berechnet.

Tabelle 27: Durchschnittswerte der spez. Aktivitäten von Pb-210 der Futtermittelrationen für Rinder aus den Räumen Kulmbach und Mechernich

Tierart	Jahreszeit	spez. Aktivität von Pb-210	
		Kulmbach	Mechernich
		$10^3 \cdot \text{pCi Pb-210/g Pb}$	
Kuh	Winter	507	102
	Sommer	505	164
Bulle	Winter	597	86
	Sommer	543	130
Mittelwert		538	121

Tab.27 zeigt, daß die mittleren spezifischen Pb-210-Aktivitäten im Futter von Kühen und Jungbullen aus dem Kulmbacher Gebiet während der Sommer- und Winterfütterung im Schnitt um den Faktor 4,5 höher liegen als bei den Tieren aus dem Raum Mechernich. Die Ursache dafür ist in den erheblich höheren Pb-Gehalten im Futter der Tiere aus dem Raum Mechernich zu suchen.

Tab.28 informiert noch über die von den Rindern der 3 Altersklassen (<18 ; $19-27$; >28 Monate) bis zur Schlachtung im Mittel in den Räumen Kulmbach und Mechernich aufgenommenen Futtermengen. Ihrer Berechnung liegen wieder die Angaben von KOLB und GÜRTLER (1971) und von der BAYERISCHEN LANDESANSTALT für Tierzucht in Grub (1972) zugrunde. Als Bezugspunkt wurde kg TS gewählt.

Tabelle 28: Bis zur Schlachtung im Schnitt von den Rindern aus den Räumen Kulmbach und Mechernich aufgenommene Futtermittelmenge (kg TS)

Alter (Monate)	n	aufgenommene Futtermittelmenge	
		Kulmbach	Mechernich
		in kg/TS	
bis 18	19	2910	2700
19 - 27	31	4490	4800
über 28	25	23900	21300

4.5. Knochenanteil bei Rindern verschiedener Altersgruppen

Als Berechnungsgrundlage für die Pb- und Pb-210-Kontamination im Skelett der Rinder dienten Daten aus Ausschachtungsversuchen von SCHÖN (1968, 1969) an Deutschem Fleckvieh und Deutschen Schwarzbunten. Die mittleren Knochenanteile der Schlachtkörper von Rindern aus den Räumen Kulmbach und Mechernich sind zusammen mit ihren durchschnittlichen Zweihälftengewichten, unterteilt nach Altersklassen, aus Tab.29 ersichtlich. Deutsche Rotbunte dürften sich in ihrem mittleren Knochenanteil und auch im Zweihälftengewicht kaum erheblich von Schwarzbunten unterscheiden, weshalb die Zugrundelegung des mittleren Knochenanteils für Deutsche Schwarzbunte auch für Deutsche Rotbunte zulässig erscheint.

Tabelle 29: Mittlerer Knochenanteil bei deutschen Rinder-
rassen (Deutsches Fleckvieh und Deutsche
Schwarzbunte)

Alter (Monate)	Durchschnittliches Zweihälftengewicht (kg)		Mittlerer Knochenanteil am gesamten Tierkörper (kg)	
	Kulmbach	Mechernich	Kulmbach	Mechernich
bis 18	280	260	65,5	64,8
19 - 27	320	290	74,9	72,2
über 28	310	300	69,5	70,2

Aus der Tab.29 geht hervor, daß sich die mittleren Knochen-
anteile in den Schlachtkörpern der Tiere aus den Räumen Kulm-
bach und Mechernich nur unerheblich voneinander unterschei-
den, obwohl das Zweihälftengewicht der Schlachtkörper von
Rindern aus dem Gebiet um Kulmbach größer als das der Schlacht-
körper aus dem Raum Mechernich war. Die Differenz in den Zwei-
hälftengewichten dürfte in erster Linie rassebedingt sein.
Deutsches Höhenfleckvieh (Raum Kulmbach) ist im allgemeinen
schwerer als Deutsche Schwarz- bzw. Rotbunte.

4.6. Berechnung des Carry-over von Blei und Blei-210 beim Übergang Futter-Rinderknochen

Zur Berechnung des Übergangs (Carry-over) von Pb und Pb-210
aus dem Futter in das Skelett der Rinder wurde dem Pb- bzw.
Pb-210-Gehalt im kg Frischfutter der Futterration in Be-
ziehung zu der in einem kg frischen Knochen enthaltenen
Menge Pb bzw. Pb-210 gesetzt.

Der Carry-over von Pb bzw. Pb-210 aus dem Futter in die
Schwanzwirbelknochen von Rindern der drei Altersklassen
(< 18; 19-27; > 28 Monate) aus den Gebieten um Kulmbach und
Mechernich ist aus Tab.30 ersichtlich.

Tabelle 30: Carry-over von Pb und Pb-210 aus Futterrationen
in das Skelett von Rindern verschiedener Alters-
klassen

<u>Herkunft</u>	<u>mittlere Zufuhr</u> <u>an Pb und Pb-210</u> <u>pro kg Futter (Fg)</u>		<u>Gehalt an Pb und</u> <u>Pb-210 pro kg</u> <u>Knochen (Fg)</u>			<u>Carry-over</u> <u>Faktor</u> <u>Knochen/Futter</u>	
<u>Alter</u> <u>(Monate)</u>	<u>mg Pb</u>	<u>pCi Pb-210</u>	<u>mg Pb</u>	<u>pCi</u>	<u>Pb-210</u>	<u>Pb</u>	<u>Pb-210</u>
<u>Kulmbach</u>							
bis 18	0,35	133	1,43	475		4,09	3,57
19 - 27			1,53	382		4,37	2,87
über 28			2,40	449		6,86	3,38
			$\bar{x}$ 1,91	435		5,46	3,27
<u>Mechernich</u>							
bis 18	17,1	145	17,6	455		1,03	3,14
19 - 27			23,7	471		1,39	3,25
über 28			30,2	491		1,77	3,38
			$\bar{x}$ 23,6	472		1,38	3,26

In den Knochen von Rindern reicherte sich Pb bei Tieren (bei einem Alter bis 27 Monate) aus dem Raum Kulmbach gegenüber dem Gehalt im aufgenommenen Futter um den Faktor 4,09 - 4,37, in Knochen älterer Tiere sogar bis zu einem Faktor von 6,36 an. Bei Rindern aus dem Raum Mechernich betrug im Alter bis 18 Monaten der Anreicherungsfaktor nur 1,03, er nahm bei den älteren Tieren noch geringfügig zu und erreichte bei Rindern >als 28 Monate den Wert von 1,77. Ohne Altersdifferenzierung belief sich der Pb-Carry-over Futter/Schwanzwirbelknochen für

alle aus dem Raum Kulmbach untersuchten Rinder auf durchschnittlich 5,46, für Tiere aus der Gegend um Mechernich auf 1,38. Bei höherem Pb-Angebot im Futter, wie etwa im Raum Mechernich, wird von Rindern relativ weniger Pb in die Knochen eingebaut als bei Aufnahme von Futter mit geringerem Pb-Gehalt (Kulmbach).

Der Carry-over für Pb-210 aus dem Futter in die Schwanzwirbel lag bei Rindern aus dem Kulmbacher Gebiet im Schnitt bei 3,27, bei Tieren aus dem Raum Mechernich bei 3,26. Altersbedingte Unterschiede schienen nicht zu bestehen, wenn auch bei den Rindern im Raum Mechernich eine allerdings nicht gesicherte, geringe Zunahme des Carry-over-Wertes für Pb-210 mit dem Alter vorlag.

Ferner wurde versucht, den prozentualen Anteil des im Skelett deponierten Pb und Pb-210, bezogen auf den während der gesamten Lebensdauer mit dem Futter zugeführten Mengen zu ermitteln.

Die Ergebnisse sind in Tab.31 (S. 80) wiedergegeben.

Tabelle 31: Prozentuale Anteile des im Gesamtskelett
(s. Tab.29, S.77) deponierten Pb und Pb-210,
bezogen auf die gesamte bis zur Schlachtung mit
dem Futter zugeführte Menge an Pb bzw. Pb-210

Herkunft Alter (Monate)	Gesamtzufuhr an Pb und Pb-210 mit dem Futter		Im Skelett ver- bliebene Menge an Pb und Pb-210		Im Skelett ver- bliebene Menge in %	
	Pb	Pb-210	Pb	Pb-210	Pb	Pb-210
	(10^3 mg)	(10^6 pCi)	(10^3 mg)	(10^6 pCi)		
<u>Kulmbach</u>						
bis 18	4,91	1,89	0,0937	0,0311	1,91	1,64
19 - 27	7,59	2,92	0,1146	0,0286	1,51	0,98
über 28	40,39	15,56	0,1663	0,0312	0,41	0,20
<u>Mechernich</u>						
bis 18	249,8	2,06	1,1405	0,0295	0,46	1,43
19 - 27	444,0	3,67	1,7111	0,0340	0,39	0,93
über 28	1970,3	16,27	2,1200	0,0345	0,11	0,21

Bei einem geringeren Kontaminationspegel im Futter an Pb wird relativ mehr Pb im Skelett deponiert als bei einer erhöhten Pb-Zufuhr. Den Tieren bis 18 Monaten aus dem Raum Kulmbach wurden durchschnittlich bis zur Schlachtung 4910 mg Pb mit dem Futter zugeführt; davon fanden sich 1,91% im Skelett wieder. In der gleichen Altersgruppe aus Mechernich beträgt die Zufuhr im stärker Pb-haltigen Futter 249800 mg Pb; der Anteil im Skelett jedoch nur 0,46%. Mit zunehmenden Alter der Rinder verringert sich der prozentuelle Anteil um etwa den Faktor 4 - 5, bezogen auf den Wert bei den jüngeren Tieren: d.h., eine stärkere Belastung im späteren Lebensalter hat prozentuell eine geringere Pb-Ablagerung im Skelett zur Folge.

Das Speicherungsvermögen für Pb-210 läßt gleichfalls ein vom Alter der Tiere abhängiges Verhalten erkennen; die Abnahme macht anteilmäßig etwa einen Faktor von 7 - 8 aus, bezogen auf den Wert für die jüngeren Tiere. Infolge des etwa gleichen Pb-210-Pegels in den beiden Gebieten verlaufen die Werte weitgehend ähnlich.

Die Gehalte an Pb und Pb-210 im Knochen stellen Integralwerte aus der über das gesamte Lebensalter der Tiere mit dem Futter erfolgten Kontamination dar, einschließlich der bei der Geburt bereits vorhandenen Belastung. Die Berechnung des Carry-over-Wertes bzw. der im Skelett verbliebenen prozentuellen Anteile an Pb und Pb-210 basieren dagegen auf Untersuchungsergebnissen über die Kontaminationsverhältnisse im Futter im Herbst 1975 und im Frühjahr 1976. Die aus den Futtermittelplänen bzw. aus den Angaben der einzelnen Betriebe berechneten Daten sind daher mit einigen Unsicherheiten behaftet.

Aus den Ergebnissen ist zu entnehmen, daß der Carry-over von Pb aus dem Futter in das Skelett von Rindern primär von der Höhe des Futterkontaminationspegels und dem Alter der Tiere abhängt. Bei einem Pb-Gehalt des Futters von 0,35 mg/kg Fg ergibt sich für Tiere bis zu einem Alter von etwa 27 Monaten ein Wert für den Carry-over von etwa 4, d.h., daß pro kg frischen Knochen mit etwa 1,4 mg Pb gerechnet werden muß. Bei gleicher Belastung älterer Tiere läge der Wert etwa bei 7, d.h., daß der Gehalt im frischen Knochen ca. 2,5 mg betragen würde.

Die analogen Überlegungen für das bleischüssige Gebiet um Mechernich ergeben bei einer Zufuhr mit dem Futter von rund 17 mg Pb/kg Fg im Falle der jungen Tiere, einen Wert für den Carry-over von etwa 1,0; es wäre dann pro kg frischen Knochen mit 17 mg Pb zu rechnen. Bei älteren Tieren steigt der Carry-over auf ca. den doppelten Wert an; demnach sind dann in der frischen Knochensubstanz stärker Pb-belasteter Rinder rund 30 - 35 mg Pb/kg

zu erwarten.

Die Werte für den Carry-over des Pb-210 (s. Tab.30, S.78) sind, wie sich bei den Tieren aus beiden untersuchten Gegenden zeigt, praktisch unabhängig, sowohl von der Gesamtbelastung als auch vom Alter der Tiere. Dies läßt den Schluß zu, daß die Kontamination des Skeletts mit Pb-210 nicht nur durch Aufnahme über das Futter, sondern auch auf anderem Wege, vermutlich durch pulmonale Resorption von Pb-210 aus der Luft, erfolgt.

4.7. Abschätzung der Halbwertszeiten für Pb und Pb-210 im Rinderknochen

Die Halbwertszeiten von Pb betragen beim Menschen für den Knochen 3650 Tage und für die Leber 1947 Tage; bei Nieren findet man jedoch nur 531 Tage. Die entsprechenden Daten für Pb-210 sind 2400 Tage beim Knochen, 1500 Tage bei der Leber und 494 Tage bei den Nieren (ICRP, 1959). Angaben über Halbwertszeiten dieser Organe beim Rind sind aus der zugänglichen Literatur nicht bekannt. Es wurde daher versucht, aus der Speichergeschwindigkeit von Pb und Pb-210 einen Rückschluß auf die Ausscheidungsrate, die man in etwa der Speicherrate gleichsetzen kann, zu ziehen.

In den Abb.14 und 15 (S.84 und S.85) sind die Werte für Pb und Pb-210 im halblogarithmischen Maßstab gegen das Alter aufgetragen. Bedingt durch die große Schwankungsbreite der einzelnen Meßergebnisse können die durch lineare Regressionsrechnung ermittelten Daten für die Halbwertszeiten nur als ungefähre Richtwerte betrachtet werden. Für die Tiere aus dem Raum Kulmbach ergibt sich bei Pb eine Halbwertszeit für den Einbau in den Knochen von ca. 2700 Tagen, für die Tiere aus dem bleischüssigen Gebiet um Mechnich von ca. 1500 Tagen.

Den Verlauf der Regressionsgeraden für die Beziehung Pb-Gehalt in Schwanzwirbelknochen zum Alter der Tiere charakterisiert die Gleichung $y = 0,0033x + 0,1088$ für die Rinder aus dem Raum Kulmbach. Für die Tiere aus dem Gebiet Mechernich ergibt sich die Gleichung $y = 0,0061x + 1,0340$.

Der Aktivitätspegel von Pb-210 ist in Knochen von Rindern bis 18 Monaten in beiden Gebieten bereits verhältnismäßig hoch; er nimmt bei älteren Tieren bis zur Schlachtung nur mehr geringfügig zu. Deshalb konnte zwischen diesen Altersklassen auch keine Abhängigkeit des Pb-210-Gehaltes in den Knochen vom Alter festgestellt werden. Die Abhängigkeit der Pb-210-Aktivitäten in den Schwanzwirbeln vom Alter der Tiere kennzeichnen die Gleichungen $y = -0,00002x + 2,6231$ für Rinder aus dem Gebiet Kulmbach und $y = 0,0006x + 2,6425$ für Tiere aus dem Raum Mechernich.

Abbildung 14: Regressionsgeraden für die Beziehung Pb-Gehalt
Schwanzwirbelknochen/Alter der Tiere

a: im Raum Mechernich
b: im Raum Kulmbach

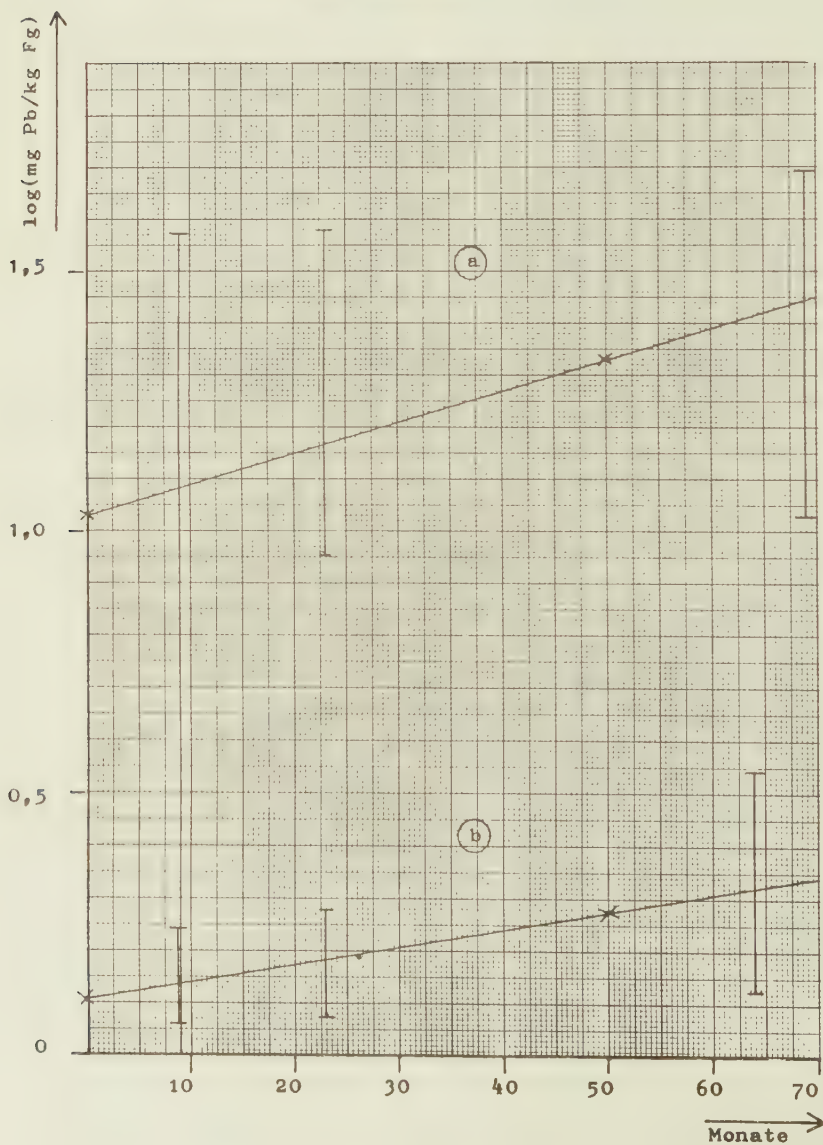
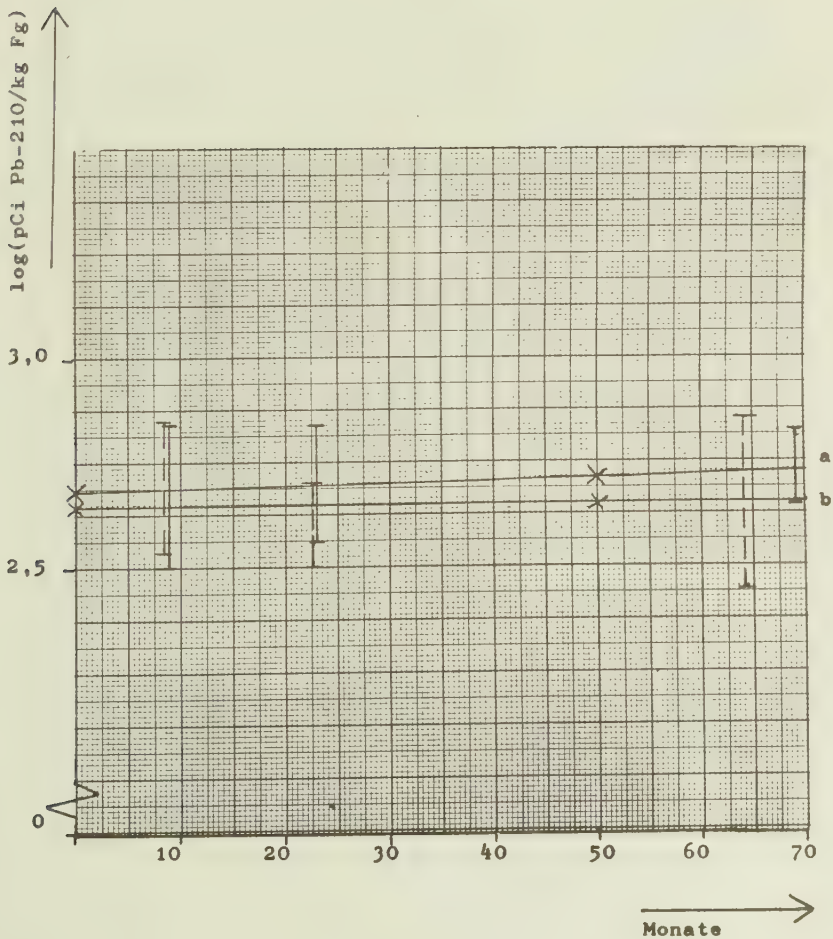


Abbildung 15: Regressionsgeraden für die Beziehung
Pb-210-Aktivität Schwanzwirbelknochen/
Alter der Tiere
a: im Raum Mechernich
b: im Raum Kulmbach



5. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

5.1. Blei im Boden

Der Pb-Gehalt der Böden ist in den untersuchten Gebieten recht unterschiedlich. In Böden aus dem Raum Kulmbach wurden bei nur geringer Streuung der Einzelwerte in der Oberkrume durchschnittlich 40,5 mg Pb/kg TS bestimmt. Die geringere Streuung überrascht beim unterschiedlichen Aufbau des geologischen Untergrundes in diesem Gebiet. Fast sämtliche Formationsstufen des Trias sind an seinem Aufbau beteiligt. Möglicherweise verwischt die Kultivierung ursprünglich vorhandene Unterschiede im Pb-Gehalt der Böden. Aus Tabellen von WlNOGRADOW (1954) ist zu entnehmen, daß im Pb-Gehalt von Kulturböden verschiedener Länder weitgehende Übereinstimmung besteht. BALKS (1961) analysierte zur Ermittlung des normalen Pb-Gehaltes in Böden insgesamt 70 Bodenproben aus Westfalen-Lippe. Mit steigendem Gehalt an tonigen Anteilen in Böden nahm der Pb-Gehalt deutlich zu. In Ackerland mit ausgesprochen sandigen Böden betrug der Pb-Gehalt durchschnittlich 19,0, Grünlandböden enthielten im Mittel 33,7, Lehm Böden 35,9 bzw. 41,5 mg Pb/kg TS. In Bodenproben aus dem Hochrheingebiet fanden KOPP und KUMMERER (1974) im Schnitt 21,1 mg Pb/kg TS. HORAK und HUBER (1974) geben den Pb-Gehalt in Böden verkehrsferner Gegenden mit 24,8 mg Pb/kg TS an.

Wesentlich höher liegen die Pb-Gehalte in Böden belasteter Gebiete. Im Bleischadensgebiet um Mechernich wurden in Böden im Mittel Pb-Gehalte von 7550 mg Pb/kg TS gemessen. Am meisten Pb enthielt eine Bodenprobe, die in unmittelbarer Nähe des Bleibachs oberhalb

Roggendorf entnommen wurde; ihr Pb-Gehalt betrug 58000 mg Pb/kg TS. Dort lagert noch Flotationssand aus dem mittelalterlichen Pb-Bergbau. Von hieraus dürften im Laufe der Zeit erhebliche Pb-Mengen in die Böden bachabwärts eingeschwemmt worden sein. BALKS (1961) ermittelte in Böden entlang eines Baches in der Umgebung einer stillgelegten Bleigrube in Bönkhausen im Sauerland Pb-Werte von mehr als 5000 mg Pb/kg TS. Eine weitere Kontaminationsquelle für Pb bilden offenbar Pb-emittierende Industriebetriebe. WIEBICKE (1974) berichtete z. B. in Böden in der Nähe einer Bleischmelze bzw. Mennigeanlage über Pb-Gehalte zwischen 624 und 10200 mg Pb/kg TS.

5.2. Blei in Futtermitteln

Nach der Verordnung des Rates der Europäischen Gemeinschaft über die Festlegung von Höchstgehalten an unerwünschten Stoffen und Erzeugnissen in Futtermitteln, die am 1. Januar 1971 in Kraft trat, dürfen Einzel- und Mischfuttermittel höchstens 10 mg Pb/kg und Mineralstoff-Futter (Phosphate) 30 mg Pb/kg (bezogen auf TS), enthalten (Arbeitsblatt der EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT Nr. C 34/4 vom 14.4.1971). Die entsprechenden Werte der Futtermittel-VO vom 16.6.1976 (BGBl I Nr. 70, S. 1497 vom 22.6.1976) sind in der Anlage 5 für Einzelfuttermittel mit mehr als 8 v. H. Phosphor auf 30 mg Pb/kg und für andere Einzelfuttermittel, außer Grünfutter auf 10 mg Pb/kg begrenzt. Die angegebenen Werte beziehen sich auf Futtermittel mit 88 v. H. Trockenmasse.

Die Mittelwerte fast aller hier untersuchten Arten von Futtermitteln aus dem Raum Kulmbach lagen unter der höchstzulässigen Menge von 10 mg Pb/kg TS. Er

betrug in Weidegras im Mittel 1,76 mg Pb/kg TS. OEL-SCHLÄGER et al. (1974) gaben als "normalen" Pb-Gehalt für Wiesen- und Weidefutter aus Süddeutschland durchschnittlich 2,8 mg Pb/kg TS und in ähnlichen Proben aus Irland 1,6 mg Pb/kg TS an. Während der Wachstumsperiode ermittelten MICHELE und REITH (1966) im gemischten Weidefutter 0,3 - 1,5 mg Pb/kg TS. LEH (1966, 1972), KLOKE et al. (1966, 1973), HORAK und HUBER (1974) stellten in Gras- und Grünlandproben verkehrsferner Standorte Pb-Gehalte von 3 - 10 mg Pb/kg TS fest. In Grünfutter ähnlicher Herkunft fanden GYIMOTHY et al. (1973) 0,3 - 7,9 mg Pb/kg TS, MICHELE und REITH (1966) 0,72 - 10,9 mg Pb/kg TS.

Grasproben aus Mechernich enthielten im Mittel 136,0 mg Pb/kg TS. Die höchsten Pb-Werte wiesen dabei Grasproben aus der unmittelbaren Umgebung des Bleibachs auf. Dieser Bach entspringt in stark bleischüssigem Gebiet und trat häufig über die Ufer. Er lagerte dabei auf den umliegenden Wiesen und Feldern bleihaltigen Schlamm ab. Aber auch die Wiesen in weiterer Entfernung vom Bleibach wiesen noch erhöhte Pb-Gehalte auf, vermutlich ist der Boden dort noch originär bleischüssig. Stark bleihaltige Flächen werden von den Landwirten möglichst nicht als Weideflächen genutzt; sie bauen dort Getreide, Zuckerrüben oder Mais an. Durch nur stundenweisen oder halbtägigen Auftrieb der Rinder auf solche Weiden können Pb-Vergiftungen vermieden werden. Teilweise versucht man auch, durch Aufbringen einer neuen Bodenschicht aus wenig kontaminierten Gegenden den Pb-Gehalt im Bewuchs herabzusetzen. Ähnlich hohe Pb-Gehalte wie im Weidegras des bleischüssigen Gebietes um Mechernich haben BANCHER et al.

(1975) im Blei- und Zink-Bergbaugebiet um Bleiberg und Kreut (Villacher Gegend, Österreich) festgestellt; sie fanden 47,4 - 182 mg Pb/kg TS. WIEBICKE (1974) hat in der Umgebung einer Bleieinschmelze mit Mennigeherstellung in Krautscheid im Gras Pb-Werte zwischen 155 und 460 mg Pb/kg TS ermittelt.

Zahlreiche Untersuchungen liegen über Pb-Gehalte von Gras in unmittelbarer Fahrbahnnähe vor; die Angaben schwanken je nach Verkehrsdichte zwischen 40 und 300 mg Pb/kg TS (SOMMER et al. 1971, KOPP 1974b, KLOKE et al. 1966, CHOW 1970, SUCHODOLLER 1967, GYIMOTHY et al. 1973, HORAK et al. 1976).

Die mittleren Pb-Gehalte im Heu von 2,34 und im Grummet von 3,55 mg Pb/kg TS in Proben aus dem Raum Kulmbach entsprechen etwa den von KERIN (1971) ermittelten Werten, der im Heu 1,41 - 3,56 und im Grummet 3,87 - 7,0 mg Pb/kg TS feststellte. Dagegen fanden SOMMER et al. (1971) nur 0,8 im Heu und 1,5 mg Pb/kg TS im Grummet.

Die Pb-Gehalte des Bewuchses aus dem bleischüssigen Gebiet um Mechernich lagen bedeutend höher, im Heu im Mittel bei 23,4 und im Grummet bei 40,5 mg Pb/kg TS. Sie bestätigen damit zugleich auch in eindrucksvoller Weise die Beobachtungen von KERIN (1971), daß auf der gleichen Fläche wie Heu gewachsenes Grummet in der Regel mehr Pb enthält als das Heu. Noch höhere Pb-Werte haben BANCHER et al. (1971) in Heuproben in der Umgebung eines Blei- und Zinkbergwerkes (Bleiberg und Kreut) mit durchschnittlich 41,0 mg Pb/kg TS gefunden. Für die Pb-Gehalte in Heu aus der Nähe eines Bleieinschmelzungs- und Mennigeeerzeugerbetriebs gibt WIEBICKE (1974) 14 - 148 mg Pb/kg TS an; VETTER und MÄHLHOP

(1971) ermittelten in der Umgebung eines Pb-emittierenden Industriewerkes im Heu 155 - 460 mg Pb/kg TS. Entfernungsabhängig von einer Bleihütte unweit der Österreichischen Grenze stellte KERIN (1971) im Heu Pb-Gehalte von 20 - 1729 mg Pb/kg TS fest.

Der Pb-Gehalt im Stroh aus dem Raum Kulmbach betrug im Mittel 1,95 mg Pb/kg TS. Für verkehrsferne Gebiete geben KOPP (1974c) im Stroh 3 - 4 mg Pb/kg TS, ZUBER et al. (1971) sogar 4 - 8,5 mg Pb/kg TS an. Die Pb-Gehalte im Stroh aus dem Raum Mechernich lagen im Durchschnitt dagegen mit 22,8 mg Pb/kg TS deutlich höher.

In den untersuchten Proben Getreideschrot aus der Umgebung von Kulmbach lag der mittlere Pb-Gehalt bei 0,64 mg Pb/kg TS. OELSCHLÄGER et al. (1974) geben für Getreideschrot im Mittel 0,37, SEIBEL et al. (1974) für Getreide 0,1 - 0,2 mg Pb/kg TS an. KEHOE (1961) fand in Weizenkörnern 0,40 mg Pb/kg TS. Die Ergebnisse von CRÜSSMANN und ENGELS (1975b) für Getreide stimmen recht gut mit den Pb-Gehalten der Proben aus dem Raum Kulmbach überein; sie fanden im Mittel in Futtergetreide 0,58 und in Nachprodukten der Müllerei 0,70 mg Pb/kg TS; demgegenüber geben VETTER und MÄHLHOP (1974) als "Normal-Pb-Gehalte" für Weizen 2 - 3 und für Gerste 1 - 2 mg Pb/kg TS an; KOPP (1974b) ermittelte in Hafer 1 und in Weizen 1 - 2 mg Pb/kg TS; zu ähnlichen Ergebnissen gelangten auch ZUBER et al. (1971). LEH (1966) gibt für Getreideprodukte als Mittelwert 3,9 mg Pb/kg TS an.

Deutlich höher liegt mit 17,1 mg Pb/kg TS der durchschnittliche Pb-Gehalt in Getreideschrotpuben aus dem bleischüssigen Gebiet um Mechernich.

Futterrüben aus dem Gebiet um Kulmbach enthielten im Mittel 0,85 mg Pb/kg TS. OELSCHLÄGER et al. (1974)

fanden im Schnitt nur 0,32 mg Pb/kg TS. LEM (1966) berichtet dagegen in Futter- und Zuckerrüben über Pb-Gehalte von 1,7 - 3,0, KLOKE et al. (1966) ermittelten sogar 1,3 - 9,6 mg Pb/kg TS. Im bleischüssigen Gebiet verursacht die Verfütterung von Futterrüben bei Rindern am häufigsten Pb-Vergiftungen. Aus dem Raum Mechernich wiesen die Futterrüben durchschnittlich 128 mg Pb/kg TS auf. Die Einzelwerte lagen zwischen 3,86 und 710 mg Pb/kg TS. Futterrüben werden vor allem im Winter bei der Jungbullenmast in beachtlichem Umfang verfüttert.

Kraft- und Mineralfutter sind i. d. R. Handelsfuttermittel. Bei ihnen muß daher in Abhängigkeit von der Art und Herkunft der verarbeiteten Rohstoffe und dem Verarbeitungsprozeß mit erheblichen Unterschieden in ihren Pb-Gehalten gerechnet werden. In den Kraftfuttermitteln aus dem Raum Kulmbach lag der durchschnittliche Gehalt an Pb bei 2,47 mg Pb/kg TS. Ähnliche Pb-Werte zeigten auch die Proben aus dem Gebiet um Mechernich; der Mittelwert betrug dort 1,72 mg Pb/kg TS. CROSSMANN und ENGELS (1975a) geben für Rindermastfutter einen Pb-Gehalt von durchschnittlich 1,39 und für Milchleistungsfutter von 1,66 mg Pb/kg TS an.

Deutlichere Unterschiede bestehen in den Pb-Gehalten der Mineralfuttermittel beider Gebiete. Mineralfutter aus dem Raum Kulmbach wies im Schnitt 3,07 mg Pb/kg TS auf, bei einem Schwankungsbereich von 1,41 - 6,75 mg Pb/kg TS. Die Mineralfutterproben aus Mechernich enthielten im Mittel 12,8 mg Pb/kg TS, bei einer Schwankung der Einzelwerte zwischen 2,69 und 22,4 mg Pb/kg TS. OELSCHLÄGER et al. (1974) berichteten in 7 Mineralfutterproben über Pb-Gehalte zwischen 3,2 und 15,1 der Durch-

schnitt lag bei 6,8 mg Pb/kg TS.

Pb-210, ein Radionuklid der U-238 Zerfallsreihe, gelangt außer über den Boden auch als Bestandteil des "natürlichen fall-out" auf die Erdoberfläche und damit in die Pflanzen.

Der durchschnittliche Gehalt wirtschaftseigener Futtermittel an Pb-210 aus der Umgebung von Kulmbach unterscheidet sich nicht signifikant von den vergleichbaren Proben aus dem Raum Mechernich. In den Handelsfuttermitteln hängt die Pb-210-Aktivität vor allem von der Herkunft der Rohstoffe und den Herstellungsverfahren ab. Es ist deshalb verständlich, daß sich die Kraftfutterproben beider Gebiete in ihren Pb-210-Aktivitäten nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Die höchsten Pb-210-Aktivitäten wiesen die Mineralfuttermittel auf. Die Einzelwerte der Mineralfutterproben streuten in beiden Gebieten jedoch erheblich.

Vergleichbare Untersuchungen über die Pb-210-Aktivitäten liegen nur für Weidegras vor. HOLTZMAN (1966), BLANCHARD (1967), KAURANEN und MIETTINEN (1967, 1969) und GLÖBEL (1966) geben, bei Bezug auf TS, den Pb-210-Gehalt in Gras mit 300 bis 900 pCi Pb-210 an. HILL (1965) fand Werte zwischen 400 und 16000 pCi Pb-210/kg TS. Die Akkumulation von Pb-210 während der Wachstumsperiode der Pflanzen machen die Untersuchungen von KAURANEN und MIETTINEN (1969) deutlich; sie fanden im Weidegras im Juli 400 pCi Pb-210, im Oktober dagegen 900 pCi Pb-210/kg TS. HILL (1960) stellte in linearer Abhängigkeit vom jährlichen Regenfall in Gras 200 - 2200 pCi Pb-210/kg TS fest. Gemessen an diesen Werten entsprechen die Pb-210-Gehalte in Weidegras aus den Räumen Kulmbach und Mechernich mit durchschnittlich 733 bzw. 910 pCi Pb-210/kg TS den Ergebnissen anderer Autoren, die Grasproben aus ähnlichen

Klimaten entnommen und untersucht hatten.

Sehr hohe Pb-210-Aktivitäten wurden in perennierenden Pflanzen, wie Flechten und Moosen gefunden; beide vermögen über eine längere Zeitspanne hinweg u. a. auch dieses Radionuklid zu speichern (BLANCHARD 1967, KAURANEN und MIETTINEN 1965, 1967, JAWOROWSKI 1966, HILL 1965); wobei Extremwerte bis 69000 pCi Pb-210/kg TS beobachtet wurden (HOLTZMAN 1966).

HILL (1960) ist der Ansicht, daß die Pb-210-Aktivitäten in Gräsern weitgehend von der jährlichen Niederschlagsmenge abhängen. Mit dieser Feststellung ließe sich auch der etwas erhöhte Pb-210-Gehalt in den Futtermittelproben aus dem Raum Mechernich gegenüber den vergleichbaren Proben aus der Umgebung von Kulmbach erklären. Vom deutschen Wetterdienst, Wetteramt Essen und Nürnberg wurde das langjährige Niederschlagsmittel (Durchschnitt von 30 Jahren) für das Gebiet um Mechernich mit 717 mm/m^2 (Meßstation Hergarten, 341 m ü. NN) und für die nähere Umgebung von Kulmbach mit 644 mm/m^2 angegeben (Meßstation Kulmbach, 330 m ü. NN).

Ohne große Bedeutung für den Pb-210-Gehalt der Futtermittel dürfte der Beitrag an Pb-210 aus industriellen Emissionen sein, sowie an metallischem Pb aus Vergasertreibstoffen; JAWOROWSKI (1969) gibt im Mittel den Gehalt an Pb-210 je g metallischem Pb mit 22 pCi an. Der Hauptanteil des Pb-210 in der Luft stammt bekanntlich aus dem Zerfall des in der Atmosphäre vorhandenen Rn-222.

5.3. Berechnung der Bleiaufnahme der Rinder mit Futtermitteln

Aus einer täglichen Futteraufnahme von durchschnittlich 10 kg TS errechnet sich nach KOLB und GÜRTLER (1971)

für Jungbullen von 500 kg Schlachtgewicht eine tägliche Trockensubstanzaufnahme von 20 g/kg Körpergewicht (KGW). In der mittleren Futtermittelration der Jungbullen aus dem Raum Kulmbach ist im Jahresdurchschnitt 1,43 mg Pb/kg TS enthalten. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Pb-Aufnahme von 0,029 mg Pb/kg KGW und Tag. Gleichschwere Jungbullen aus dem bleischüssigen Gebiet um Mechnernich nehmen mit dem Futter im Mittel (Jahresdurchschnitt) 96,8 mg Pb/kg TS auf; die tägliche Aufnahme beträgt dann 1,94 mg Pb/kg KGW.

Für Kühe mit einem durchschnittlichen Lebendgewicht von 600 kg und einer täglichen Aufnahme von 15 kg TS ergibt sich eine Futteraufnahme von 25 g TS/kg KGW und Tag (KOLB und GÜRTLER 1971). Im Raum Kulmbach enthält das Futter der Kühe im Mittel 1,95 mg Pb/kg TS; woraus für diese Tiere eine Pb-Aufnahme von 0,049 mg Pb/kg KGW und Tag resultiert. Der durchschnittliche Gehalt im Futter aus dem Raum Mechnernich beträgt 88,5 mg Pb/kg TS, die tägliche Pb-Aufnahme der Kühe 2,21 mg Pb/kg KGW.

Bei Schafen induziert (FASSBENDER 1973) eine Aufnahme von 0,3 mg Pb/kg KGW und Tag, bei Schafen und Rindern von 0,5 mg Pb/kg KGW und Tag (HAPKE 1975) biochemische Veränderungen. Als no-effekt level (obere unwirksame Dosis) können daher für diese Tierarten 0,2 mg Pb/kg KGW und Tag angesehen werden (HAPKE 1975). Nach FASSBENDER (1973) führt bei Schafen die tägliche Aufnahme von weniger als 3 mg Pb/kg KGW noch nicht zu toxischen Auswirkungen auf Körperfunktionen. Bei Rindern wurden bei einer täglichen Pb-Aufnahme von 4,4 mg Pb/kg KGW nach ca. 6 Wochen Symptome schwerer Pb-Vergiftungen beobachtet (WIEBICKE 1974). HAMMOND und ARONSON (1964) berichten über Pb-Intoxikationen bei Rindern, die während einer Periode von 6 - 8

Wochen eine Dosis von 6 - 7 mg Pb/kg KGW und Tag aufgenommen hatten.

Besonders hohe Pb-Gehalte enthielt das Futter zweier landwirtschaftlicher Betriebe aus dem bleischüssigen Gebiet um Mechernich; die tägliche Aufnahme betrug in diesen Betrieben durchschnittlich 4,30 bzw. 7,21 mg Pb/kg KGW bei Jungbullen und 5,48 bzw. 8,25 mg Pb/kg KGW bei Kühen. Daß in diesen Betrieben nur ab und zu Pb-Vergiftungen auftreten, beruht offenbar auf einem Gewöhnungsprozeß der Tiere an das Pb. Auf ihn haben schon REMY (1956) und HAPKE (1974) verwiesen. Nach Erfahrungen der im Raum Mechernich ansässigen Landwirte und Tierärzte empfiehlt es sich im bleischüssigen Gebiet nur Tiere aus eigener Nachzucht für die Haltung aufzustellen, da Rinder aus weniger Pb-belasteten Gebieten leichter an Pb-Intoxikationen erkranken und trotz Behandlung zumeist schon bald nach erfolgter Aufstellung verenden. Aber auch Tiere, die seit der Geburt im Stall stehen, können erkranken. Es handelt sich bei ihnen i. d. R. dann um jüngere, hochlaktierende oder hochträchtige Rinder. Pb-Intoxikationen treten gehäuft nach plötzlicher Futterumstellung z. B. beim Weideauftrieb auf. Auch Stoffwechselstörungen anderer Genese induzieren nicht selten Pb-Vergiftungen.

In der Umgebung von Kulmbach enthält eine durchschnittliche Futterration der Jungbullen im Mittel 634 pCi Pb-210/kg TS; das bedeutet eine Aufnahme von 12,7 pCi Pb-210/kg KGW und Tag. Im Raum Mechernich ergibt sich für Jungbullen bei einer mittleren Aktivität von 759 pCi Pb-210/kg TS im Futter eine tägliche Aufnahme von 15,2 pCi Pb-210/kg KGW. Die Pb-210-Aktivität im Futter der Milchkühe aus dem

Raum Kulmbach beträgt 668 pCi Pb-210/kg TS; dies entspricht einer täglichen Aufnahme von 16,7 pCi Pb-210/kg KGW. Im Raum Mechernich beläuft sich der mittlere Gehalt des Futters an Pb-210 auf 769 pCi Pb-210/kg TS; die Kühe nehmen dort täglich im Futter 19,2 pCi Pb-210/kg KGW auf. Vergleichsdaten sind in der Literatur offensichtlich nicht vorhanden.

5.4. Bleikontamination von Rinderschwanzwirbeln

Der unterschiedliche Pb-Gehalt in Futtermitteln aus den Gebieten Kulmbach und Mechernich spiegelt sich in den Kontaminationspegeln der Knochen wider. In den Schwanzwirbeln der Tiere aus dem Raum Kulmbach finden sich im Mittel 1,91, in denen aus dem bleischüssigen Gebiet um Mechernich 23,6 mg Pb/kg Fg. Die Pb-Gehalte streuen bei den Rindern aus dem Raum Mechernich erheblich stärker als bei Tieren aus Kulmbach, dennoch besteht im Pb-Gehalt zwischen den Altersgruppen aus beiden Gebieten ein statistisch gesicherter Unterschied.

Nach DANCKWORTT und HÖLL (1934) liegt der normale Pb-Gehalt in Rinderknochen bei 3,3 mg Pb/kg; bei Pb-Vergiftungen wurden Werte bis 12 mg Pb/kg festgestellt (DANCKWORTT 1939). KEHOE (1961) gibt für Rinderknochen 3,60 mg Pb/kg Fg an. BOVAY et al. (1970a, b) haben drei Milchkühe mit Preßlingen aus längs der Autobahn gewachsenem Gras gefüttert. Nach 30-tägigem Versuch ergaben sich für Beckenknochen ein Durchschnittswert von 24,99 und für Schwanzwirbel von 8,48 mg Pb/kg Fg; beim Kontrolltier von 1,33 bzw. 0,62 mg Pb/kg Fg. WIEBICKE (1974) stellte in Knochen von zwei Rindern mit Pb-Intoxikation 21,4 bzw. 71 mg Pb/kg Fg fest.

Rinder aus dem bleischüssigen Gebiet um Mechernich nehmen mit dem Futter im Mittel ca. 50 mal mehr inaktives Pb auf als Tiere aus dem Raum Kulmbach. Das metallische Pb wird jedoch nicht im proportionalen Verhältnis zur angebotenen Menge resorbiert; trotz des höheren Angebotes an Pb bei den Tieren aus Mechernich liegt ihr Gehalt an Pb in Schwanzwirbelknochen nur rund 12 - 16 mal höher als in Schwanzwirbeln von Tieren aus dem Raum Kulmbach.

Dagegen enthalten Schwanzwirbelknochen von Rindern aus dem Raum Mechernich keine signifikant höheren Pb-210-Aktivitäten als Tiere aus der Umgebung von Kulmbach. Unterschiedliche Pb-210-Aktivitäten in den Futtermitteln wirken sich offensichtlich nicht entsprechend dem Pb-210-Gehalt der Knochen aus. HOLTZMAN (1960, 1963) verweist auf eine gewisse Abhängigkeit der Pb-210-Gehalte im Knochen vom Alter der Menschen. Diese Feststellung konnte von anderen jedoch nicht bestätigt werden (STAHLHOFEN 1964, JAWOROWSKI 1965); sie stellten keine altersabhängige Konzentrationsunterschiede in Pb-210-Gehalten von menschlichen Knochen fest. KAURANEN und MIETTINEN (1967) beobachteten in Knochen von Rentieren ebenfalls einen geringen Anstieg der Pb-210-Konzentration mit dem Alter. LUCAS und DI FERRANTE (1966) fanden in Knochen von unterschiedlich alten Rindern keine altersbedingten Unterschiede. Sie stellten bei gleichaltrigen Tieren eine starke Streuung der Pb-210-Werte fest.

Bei den Tieren aus dem Raum Kulmbach läßt sich ebenfalls keine Beziehung zwischen dem Alter der Rinder und dem Gehalt an Pb-210 in den Knochen feststellen; bei den Tieren aus der Umgebung von Mechernich ist

sie andeutungsweise erkennbar.

Der mittlere Gehalt an Pb-210 in den Schwanzwirbelknochen von Rindern aus der Umgebung von Kulmbach beträgt 435 pCi, aus dem Raum Mechernich 472 pCi Pb-210/kg Fg.

HOLTZMAN (1963) und HILL (1961) ermittelten in Rinderknochen (Schienbein) Pb-210-Aktivitäten von 128 bzw. 250 pCi/kg Fg, LUCAS und DI FERRANTE (1966) in Kieferknochen im Schnitt 296 pCi Pb-210/kg Fg. PETROW und CLOVER (1965) fanden in Rinderknochen 440 pCi und JAWOROWSKI (1967) 820 pCi Pb-210/kg Fg. HOLTZMAN (1966) gibt den Pb-210-Gehalt verschiedener Schafknochen aus Island im Mittel mit 130 pCi Pb-210/kg Fg an. Knochen von Elchen aus Südfinnland bzw. Lappland enthielten 480 und 430 pCi Pb-210/kg Fg (KAURANEN und MIETTINEN 1967, KAURANEN et al. 1971). STAHLHOFEN (1964) fand in Rehknochen 200 und in Hirschknochen 500 pCi Pb-210/kg Fg. Vergleichsweise sehr hohe Pb-210-Konzentrationen konnten in Knochen von Rentieren und Caribous aus der arktischen Region nachgewiesen werden. Sie lagen zwischen 2000 und 5300 pCi Pb-210/kg Fg (MATTSON und PERSSON 1972, KAURANEN und MIETTINEN 1967, KAURANEN et al. 1971, BEASLEY und PALMER 1966, STAHLHOFEN 1964). Sie resultieren aus den erheblichen Pb-210-Aktivitäten von Flechten und Moosen, die den Tieren im Winter als Hauptnahrung dienen.

Im Skelett abgelagertes Pb bzw. Pb-210 nimmt, relativ gesehen, bei älteren Tieren ab. Die prozentualen Anteile an Pb waren bei den Tieren aus dem weniger Pb-belasteten Gebiet um Kulmbach in den einzelnen Altersgruppen jeweils deutlich größer als in den Gegenden mit stärkerer Kontamination. Bis 18 Monate alte Tiere

aus dem Raum Kulmbach deponieren 1,91% des zugeführten Pb im Skelett, Tiere gleichen Alters aus der Gegend um Mechernich nur 0,46%.

Derartige Unterschiede existieren offenbar bei Pb-210 nicht. Das vom Alter der Rinder abhängige Ausmaß der Speicherung scheint bei Tieren beider Räume in etwa gleich zu sein.

5. Veränderungen der spezifischen Pb-210-Aktivitäten in Biocyclen

Die spezifische Pb-210-Aktivität in wirtschaftseigenen Futtermitteln aus dem Raum Kulmbach liegt im Durchschnitt mit $538 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb deutlich höher als der Mittelwert von $121 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb im bleischüssigen Gebiet um Mechernich. Dagegen unterscheiden sich die Handelsfuttermittel aus den beiden Gebieten in den spezifischen Pb-210-Aktivitäten nicht wesentlich voneinander.

Die spezifische Pb-210-Aktivität im metallischen Pb beträgt im Mittel 22 pCi Pb-210/g Pb (JAWOROWSKI 1969). In den Schwanzwirbelknochen der Rinder aus dem Raum Kulmbach betrug die spezifische Pb-210-Aktivität im Mittel $258 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb; im Gebiet Mechernich $42 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb. Diese Unterschiede sind eine Folge des hohen Gehaltes an inaktivem Pb in den Knochen der Tiere aus Mechernich, da die Pb-210-Aktivitäten bei den Rindern aus beiden Gebieten nicht wesentlich voneinander differieren. In der Literatur werden für Rinderknochen spezifische Pb-210-Aktivitäten von $44,5 \cdot 10^3$ pCi (JAWOROWSKI 1967) bis $80 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb (HILL und JAWOROWSKI 1961) angegeben, für menschliche

Knochen Pb-210-Aktivitäten von $4,2 \cdot 10^3$ bis $17,5 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb (JAWOROWSKI 1964, 1965).

Die im Vergleich zu menschlichen Knochen in Knochen von Rindern höhere spezifische Pb-210-Aktivität wird nach JAWOROWSKI (1969) eher durch höheren Pb-210-Gehalte im Futter der Rinder verursacht als durch den höheren Gehalt an inaktiven Pb der menschlichen Nahrung.

Die deutliche Differenz der spezifischen Pb-210-Aktivität in metallischem Pb einerseits und in Futtermitteln und Knochen andererseits, läßt erwarten, daß die Zufuhr von verhüttetem Pb bzw. den daraus hergestellten Verbindungen sowie von Bleierzen aus sekundären Lagerstätten eine Verringerung der spezifischen Pb-210-Aktivität in den einzelnen Biocyclen zur Folge haben müßte; das ist, wie obige Werte zeigen, auch tatsächlich der Fall.

Wenn sich das Gemisch Pb/Pb-210 beim Übergang vom Futter in das Skelett von Rindern völlig gleich verhält, dürfte sich auch die spezifische Pb-210-Aktivität nicht verändern. Dies konnte bei den vorliegenden Untersuchungen jedoch nicht beobachtet werden. Es trat vielmehr eine Abnahme der spezifischen Pb-210-Aktivität im Knochen, unabhängig von der Belastung, um etwa den Faktor 2 - 3, verglichen zur Futtermittelration, ein. Als Erklärung dafür liegt die Annahme eines unterschiedlichen Metabolismus für einzelne Radionuklide aus der Zerfallsreihe des Urans nahe, wodurch es auch zu einer Verschiebung des radioaktiven Gleichgewichts kommt (JAWOROWSKI 1969). Ähnliche Beobachtungen sind aus den Uranzerfallsreihen bereits bekannt geworden. So ergaben Untersuchungen des Verhältnisses von U-234 zu

U-238 in natürlichen Gewässern, Mineralien, Muscheln, Sedimenten und Korallen, daß Verschiebungen im Isotopenverhältnis auftreten können (zit. bei VESELSKY 1974).

Legt man die Daten der Tab.21 (S. 67) den Berechnungen zugrunde, können als Richtwerte zur Beurteilung der Herkunft einer Pb-Kontamination bei Rinderknochen aus Gebieten mit einem natürlichen Pb-Pegel spezifische Pb-210-Aktivitäten von $> 200 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb als charakteristisch angesehen werden. Proben, die aus Gebieten sekundärer Pb-Lagerstätten, wie das bleischüssige Gebiet um Mechnich, oder aus Gegenden mit einer, vom Menschen verursachten, Pb-Kontamination stammen, weisen niedrigere Werte auf, meist $< 50 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb. Bedingt durch die verhältnismäßig großen Schwankungen, u. a. der Gehalte an stabilem Pb, muß auch bei Einzelproben aus dem gleichen Gebiet mit beträchtlichen Unterschieden in den spezifischen Pb-210-Aktivitäten gerechnet werden.

6. ZUSAMMENFASSUNG

- 1) 134 Futtermittel, 57 davon aus dem Raum Kulmbach und 77 aus der Gegend um Mechernich, sowie die 14. bis 18. Schwanzwirbel von 75 Rindern, 30 aus dem Raum Kulmbach und 45 aus dem Gebiet um Mechernich, wurden auf den Gehalt an Pb und Pb-210 untersucht. Die Gegend um Kulmbach repräsentiert einen Raum mit niedriger, das bleischüssige Gebiet um Mechernich mit hoher Pb-Belastung.
- 2) Die Futtermittelrationen im Raum Kulmbach enthielten im Schnitt 1,69 mg Pb/kg TS, im Raum Mechernich 92,4 mg Pb/kg TS. Sie liegen damit um das 50 fache höher als im Kulmbacher Gebiet.
Die entsprechenden Werte der Pb-210-Aktivitäten betrugen im Kulmbacher Raum 651 pCi/kg TS, im Mechernicher Gebiet 764 pCi/kg TS. Sie unterscheiden sich nicht wesentlich voneinander.
Aus den mittleren Futtermittelrationen der Rinder aus dem Raum Kulmbach errechnet sich eine spezifische Pb-210-Aktivität von $528 \cdot 10^3$, und im Gebiet Mechernich von $121 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb. Die Unterschiede sind primär durch die unterschiedlichen Gehalte an stabilem Pb im Futter beider Gebiete bedingt.
- 3) Mit dem Futter nahmen Jungbullen aus dem Gebiet um Kulmbach ca. 0,029, Kühe 0,049 mg Pb/kg KGW und Tag auf, Jungbullen im Raum Mechernich 1,94, Kühe 2,21 mg Pb/kg KGW und Tag.
Die tägliche Aufnahme an Pb-210 betrug bei den Jungbullen aus der Kulmbacher Gegend 12,7 und bei den Kühen 16,7 pCi Pb-210/kg KGW; im bleischüssigen Gebiet um Mechernich lagen die Werte für Jungbullen bei 15,2 und für Kühe bei 19,2 pCi Pb-210/kg KGW.

- 4) Die Pb-Gehalte der Schwanzwirbelknochen enthielten bei den Tieren aus dem Raum Kulmbach im Mittel 1,91 mg Pb/kg Fg, im bleischüssigen Gebiet um Mechernich durchschnittlich 23,6 mg Pb/kg Fg. In beiden Gebieten war eine altersbedingte Pb-Zunahme erkennbar.

Die Pb-210-Aktivität in den Schwanzwirbelknochen der Rinder aus dem Raum Kulmbach betrug 435, im Mechernicher Gebiet 472 pCi Pb-210/kg Fg. Eine Zunahme der Pb-210-Konzentration mit dem Alter der Tiere konnte nicht festgestellt werden.

Daraus resultiert in den Schwanzwirbelknochen von Tieren aus dem Raum Kulmbach eine spezifische Pb-210-Aktivität von $258 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb bzw. $42 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb in den entsprechenden Knochen der Rinder der Mechernicher Gegend.

- 5) Der Carry-over von Pb (Knochen/Futtermittel) in kg Fg wird primär vom Alter der Tiere bestimmt. Er nimmt bei Tieren im Raum Kulmbach von 4,09 bei jüngeren (< 18 Monate) auf 6,86 bei älteren Rindern (> 28 Monate), im Gebiet um Mechernich dagegen nur von 1,03 auf 1,77 zu.

Der Carry-over von Pb-210 läßt keine altersbedingte Zunahme erkennen; er bewegt sich bei den Tieren aus dem Raum Kulmbach zwischen 2,87 und 3,57, bei Rindern aus Mechernich und Umgebung zwischen 3,14 und 3,38.

- 6) Die von Rindern bis zur Schlachtung im Skelett gespeicherte Menge Pb, in Prozent, zu der bis zu diesem Zeitpunkt von den Tieren insgesamt mit dem Futter aufgenommene Menge ist im Raum Kulmbach relativ größer als bei Rindern des Mechernicher Gebietes. Die Werte nehmen bei den Tieren aus dem Raum Kulmbach von 1,91% bei jüngeren (< 18 Monate) auf 0,41% bei älteren

Rindern (> 28 Monate) bzw. bei den Tieren aus Mechernich und Umgebung von 0,46% auf 0,11% ab. Diese Abnahmen sind altersabhängig.

Die Pb-210-Aktivitäten lassen ebenfalls eine altersbedingte Abnahme erkennen, jedoch keine wesentlichen Unterschiede zwischen Rindern aus den beiden untersuchten Gebieten. Die Werte nehmen im Skelett der Tiere aus der Kulmbacher Gegend von 1,64% auf 0,20%, bei Rindern aus dem Raum Mechernich von 1,43% auf 0,21% ab.

- 7) Spezifische Pb-210-Aktivitäten von $> 200 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb in Rinderschwanzwirbeln deuten darauf hin, daß die Tiere aus den Gebieten mit "normaler", natürlicher Pb-kontamination stammen. Rinder aus stärker bleikontaminierten Gebieten oder Gegenden wie Mechernich mit sekundären Pb-Lagerstätten, weisen im Skelett spezifische Pb-210-Aktivitäten von $< 50 \cdot 10^3$ pCi Pb-210/g Pb auf.
- 8) Beim Übergang von Pb und Pb-210 aus dem Futter in das Skelett von Rindern nimmt die spezifische Pb-210-Aktivität um den Faktor 2 - 3 ab. Die Verschiebung des Isotopenverhältnisses Pb-210 zu stabilem Pb wird offenbar durch den unterschiedlichen Metabolismus der verschiedenen Radionuklide der U-238-Zerfallsreihe im Organismus verursacht.
- 9) Die Halbwertszeit für stabiles Pb im Skelett von Rindern beträgt im Mittel bei Tieren aus dem Raum Kulmbach ca. 2700 Tage, bei Rindern aus dem Gebiet um Mechernich ca. 1500 Tage.
Eine Abhängigkeit der Halbwertszeiten für Pb-210 vom Alter der Tiere war dagegen nicht feststellbar.

SUMMARY

- 1) 134 feedstuffs, 57 from the area of Kulmbach and 77 from the region around Mechernich, as well as 75 samples of the 14th to 18th caudal vertebrae of cattle, 30 from the Kulmbach area and 45 from the Mechernich region, were analysed for their content of Pb and Pb-210. The region of Kulmbach represents an area with lower Pb-contamination, compared to high contamination of Pb in the Pb-mining area of Mechernich.
- 2) The feedstuffs rations in the area of Kulmbach contained an average of 1,69 mg Pb/kg dry weight (DW), in the region of Mechernich they contained 92,4 mg Pb/kg DW; the latter area thus has a 50 fold higher value than that of the Kulmbach area. The corresponding values for Pb-210 activity amounted to 651 pCi/kg DW in the Kulmbach area, 764 pCi/kg DW in the Mechernich region. They did not differ significantly from each other.
The calculated mean value of specific Pb-210 activity in the cattle feedstuffs ration from the Kulmbach area was 538×10^3 pCi Pb-210/g Pb, and in the region of Mechernich was 121×10^3 pCi Pb-210/g Pb. This difference is primarily due to the differing content of stable Pb in the feeds from the two areas.
- 3) In the region of Kulmbach, young bulls and cows took up 0,029 and 0,049 mg Pb/kg body weight (BW) per day, respectively; in the Mechernich area the values were 1,94 and 2,21 mg Pb/kg BW per day, respectively. The daily uptake of Pb-210 was calculated for young bulls from the Kulmbach area as 12,7 pCi Pb-210/kg BW,

and for cows as 16,7 pCi Pb-210/kg BW, in the Pb-mining region of Mechernich the value was 15,2 pCi Pb-210/kg BW for young bulls and 19,2 pCi Pb-210/kg BW for cows.

- 4) The mean Pb-content of the caudal vertebrae from animals of the Kulmbach area was 1,91 mg Pb/kg fresh weight (FW), in the Pb-mining region of Mechernich 23,6 mg Pb/kg FW. An age-related Pb accumulation was discernible in both regions.

The Pb-210 activity in the caudal vertebrae of the cattle from the Kulmbach area was found to be 435 pCi Pb-210/kg FW, in the Mechernich region 472 pCi Pb-210/kg FW. An increase at Pb-210 concentration with the age of the animal could not be established.

From these results, a specific Pb-210 activity of 258×10^3 pCi Pb-210/g Pb was obtained in the caudal vertebrae of animals from the Kulmbach area compared with that of 42×10^3 pCi Pb-210/g Pb in the corresponding vertebrae from animals of the Mechernich region.

- 5) The carry-over of Pb (vertebrae/feedstuffs) in kg FW agreed primarily with the age of the animals. With animals from the Kulmbach area it was 4,09 for younger (< 18 months) and 6,86 for older cattle (> 28 months), compared with only 1,03 and 1,77, respectively, in the region of Mechernich.

No age-related increase in carry-over of Pb-210 was observed. It affected the animals from the Kulmbach area from between 2,87 and 3,57, with cattle from Mechernich and environs between 3,14 and 3,38.

- 6) Up to the time of slaughter, animals from the Kulmbach area stored in the skeleton relatively greater quantities of the Pb taken up in the feed, in percent, than did the cattle from the region of Mechernich. The decrease in the value for animals from the area of Kulmbach was 1,91% with younger (< 18 months) to 0,41% with older cattle (> 28 months), compared with the animals from Mechernich and environs from 0,46% to 0,11%; these decreases are age-related.
- The Pb-210 activities also show an age-related decrease, although there was no significant difference between cattle from the two investigated areas. The values in the animal skeletons from the Kulmbach area decreased from 1,64% to 0,20%, and from 1,43% to 0,21% with cattle from the Mechernich area.
- 7) Specific Pb-210 activities of $> 200 \times 10^3$ pCi Pb-210/g Pb in cattle caudal vertebrae indicate that the animals originate from areas with "normal", natural Pb-contamination. Cattle from areas with a greater Pb-contamination, or areas like Mechernich with secondary Pb-deposits, produce in the skeleton specific Pb-210 activities of $< 50 \times 10^3$ pCi Pb-210/g Pb.
- 8) At transition of Pb and Pb-210 from the feeds in the cattle skeleton decreases the specific Pb-210 activity by a factor of 2 - 3. The displacement of the isotope Pb-210 to stable Pb will evidently bring about a difference in the metabolism of the different radio-nuclides of the radioactive decay series of U-238 in the organism.

9) The half-life estimated for stable Pb in the skeleton of cattle was calculated an average as ca. 2700 days for the animals from the Kulmbach region, and ca. 1500 days for the cattle from the region of Mechernich.

A dependence of half-life of Pb-210 on the age of the animal was not demonstrable.

7. LITERATUR

ALLCROFT, R. (1950)

Lead as a nutritional hazard to farmlivestock.
IV. Distribution of lead in the tissues of bovines
after ingestion of various lead compounds
J. comp. Path. 60, 190 - 208

ALLCROFT, R. (1951)

Lead poisoning in cattle and sheep
Vet. Rec. 63 (37), 583 - 590

ARNETH, W. (1977)

Ein Verfahren zur halbautomatischen Calciumbestimmung
in einem Probenhydrolysat
Fleischw. 57, 100 - 102

ARONSON, A.L. (1972)

Lead poisoning in cattle and horses following long-term
exposure to lead
Am. J. Vet. Res. 33 (3), 627 - 629

ARVIK, J.H. and ZIMDAHL, R.L. (1974)

Barrieres of the foliar uptake of lead
J. Environ Quality 3 (4), 369 - 373

ATHALYE, V.V. and MISTRY, K.B. (1972)

Foliar retention, transport and leaching of Polonium-210
and Lead-210
Radiation Botany 12, 287 - 290

BALKS, R. (1961)

Untersuchungen über den Bleigehalt des Bodens
Kali-Briefe, Fachgeb. 1, Bodenkd.
11. Folge, 1 - 7

BANCHER, E., WASHÜTTL, J. und SCHNABL, A. (1975)

Untersuchungen über den Gehalt an Spurenelementen in
Futtermitteln aus Bergwerksgebieten

I. Futtermittel aus Bleiberg

Die Bodenkultur 26, 70 - 75

BARTH, E. (1931)

Untersuchungen über den Bleigehalt der menschlichen
Knochen

Arch. path. Anat. 281, 146 - 151

BEASLEY, T.M. and PALMER, H.E. (1966)

Lead-210 and Polonium-210 in biological samples from
Alaska

Science 152, 1062 - 1063

BEASLEY, T.M. (1969)

Lead-210 production by nuclear devices : 1946 - 1958

Nature 224, 573

BEHRENS, B. und BAUMANN, A. (1934)

Die Pharmakologie des Bleis, X. Mitteilung

Die Beziehung der Bleiablagerung zum Calciumstoffwechsel

Z. ges. exp. Med. 92, 251 - 264

BERMAN, E. (1966)

The biochemistry of lead

Review of the body distribution and methods of lead
determination

Clin. Pediatr. 5 (5), 287 - 290

BERSIN, Th. (1963)

Biochemie der Mineral- und Spurenelemente

Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main

BLANCHARD, R.L. (1967)

Relationship between Po-210 and Pb-210 in man and his environment

Eds: Aberg B. and Hungate F.B.

Radioecological concentration process

Pergamon Press Oxford 281 - 296

BLAXTER, K.L. (1950)

Lead as a nutritional hazard to farm livestock

II. The absorption and excretion of lead by sheep and rabbits

J. comp. Path. 60, 140 - 159

BOVAY, E., HOFMANN, W., ZUBER, R., KÜPFER, U., GISIGER, L.
et BLANC, B. (1970 a)

Essais d'affouragement de vaches laitières avec du foin souillé par des dépôts de plomb provenant des gaz

d'échappement des véhicules automobiles

I. Accumulation du plomb dans divers organes et élimination de celui-ci par les déjections solides et liquides

Schweiz. landw. Forsch. 2 (2), 159 - 168

BOVAY, E. (1970 b)

Les dépôts de plomb sur la végétation le long des auto-routes

Essai d'affouragement de vaches laitières avec du foin souillé par du plomb

Nitt. Gebiete Lebensmittelunters. Hyg. 61 (5/6), 303 - 321

BRUIN, A. de (1971)

Certain biological effects of lead upon the animal organism

Arch. Environ. Hlth. 23, 249 - 264

BUCK, W. B. (1970)

Lead and organic pesticide Poisoning in cattle
J. A. V. M. A. 156, 1468 - 1472

DURTON, W.M. and STEWARD, N. G. (1960)

Use of long-lived natural radioactivity as an atmospheric tracer
Nature 186, 584 - 589

CHOW, T.J. (1970)

Lead accumulation in roadside soil and grass
Nature 225, 295 - 296

CHRISTIAN, R.G. and TRYPHONAS, L. (1971)

Lead poisoning in cattle: Brain lesions and hematologic changes
Am. J. Vet. Res. 32, 203 - 216

CRÖSSMANN, G. und ENGELS, W. (1975 a)

Untersuchungen auf Schwermetalle in Mischfuttermitteln
Sonderdruck, Kraftfutter 58 (7)

CRÖSSMANN, G. und ENGELS, W. (1975 b)

Untersuchungen über Schwermetallgehalte in Einzelfuttermitteln
1. Mitteilung Blei
DTW 82 (7), 273 - 275

DANCKWORTT, P.W. und HÖLL, K. (1934)

Chemische Untersuchungen über das normale Vorkommen von Blei in Organen und Knochen gesunder Haustiere
DTW 42 (37), 586 - 589

DANCKWORTT, P.W. (1939)

Tierversgiftungen durch Fabrikabgase
DTW 47, 277 - 279

DELWAIDE, P., HEUSCHEN, C. et NOIRFALISE, A. (1968)

Le saturnisme: Lésions biochimiques et séméiologie
biologique

Ann. Biol. Clin. 26 (7 - 9), 987 - 1001

Mc DONALD, N.S., EZMIRILAN, F., SPAIN, P. and Mc
ARTHUR, C. (1951)

The ultimate site of skeletal deposition of strontium
and lead

J. Biol. Chem. 189, 337 - 399

FASSENDEN, C.P. (1973)

Versuche zur Enzymdiagnose der subklinischen Bleivergiftung
bei Schafen

Hannover, Tierärztl. Hochschule, Diss.

FRANKE, W. (1963)

Die heutige Bedeutung und das klinische Bild der Bleivergiftung
aus der Sicht des Gewebearztes

Med. Welt 2 (44), 2229 - 2234

GARNER, R.J. CLARKE, E.G. und CLARKE, M.L. (1968)

Veterinärmedizinische Toxikologie

VEB Fischer Verlag, Jena

GLÜBEL, B. (1966)

Aufnahme und Ausscheidung der natürlichen Radionuklide
Pb-210 und Po-210 durch den Menschen

Strahlenther. 131, 218 - 226

GIBSON, W.M. (1961)

The radiochemistry of lead
National Academy of Sciences, National Research Council,
USAtomic Energy Commission
NAS-NS 3040, 129 - 131

GOLDSMITH, J. R. and HEXTER, A.C. (1967)

Respiratory exposure to lead: Epidemiological and
experimental dose-response relationships
Science 158, 132 - 134

GOSSMANN, H.H. und HEILENZ, S. (1962)

Zum Bleigehalt menschlichen Knochengewebes
D. med. Ws. 92 (49), 2267 - 2269

GUDDEN, H. (1955)

Erläuterungen zur geologischen Karte von Bayern
Blatt Nr. 5834 Kulmbach
Bayerisches Geologisches Landesamt, München

GUDDEN, H. (1977)

pers. Mitteilung

GYIMOTHY, J., WEISER, M. und FELLNER, A. (1973)

Über die verkehrsbedingte Bleikontamination längs
Autostraßen
Wien. tierärztl. Mschr. 60 (8/9), 259 - 266

HAMMOND, P. B. and ARONSON, A.L. (1964)

Lead poisoning in cattle and horses in the vicinity
of a smelter
Ann. N. Y. Acad. Sci. 111, 559 - 812

HAMMOND, P. B. (1969)

Lead poisoning an old problem with a new dimension
Essays. Toxicol. 1, 115 - 155

HANSEN, W. R. and WATERS, R. L. (1970)

Plant uptake of Pb-210 from soil
Radiation Botany 10, 371 - 375

HAPKE, H. J. (1974)

Umwelttoxikologische Bedeutung der Schwermetalle für
Tiere
Tierärztl. Umsch. 1, 17 - 22

HAPKE, H. J. und PRIGGE, E. (1973)

Neue Aspekte der Bleivergiftung bei Wiederkäuern
Berl. Münch. tierärztl. Ws. 86, (21), 410 - 413

HAPKE, H. J. (1975)

Toxikologie für Veterinärmediziner
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 297 - 305

HASS, G. M., BROWN, D. V. L., EISENSTEIN, R. and
HEMMENS, A. (1964)

Relations between lead poisoning in rabbit and man
Am. J. Path. 42 (5), 691 - 715

HECHT, H. (1975 a)

Die Bestimmung von niedrigen Spurenelementkonzentrationen in Fleisch und ähnlichen biologischen Proben mit der Atomabsorptions-Spektroskopie
Beckman-Report 1+2

HECHT, H. und MIRNA, A. (1975 b)

Zur Kontamination des Fleisches an unerwünschten
Elementen

Forschungsbericht Rückstände in Fleisch und Fleisch-
erzeugnissen

DFG, 1975; ISBN 3 - 7646 - 1635 - 0

HILL, C. R. (1960)

Lead-210 and Polonium-210 in grass

Nature 187, 211 - 212

HILL, C. R. and JAWOROWSKI, Z. S. (1961)

Lead-210 in some human and animal tissues

Nature 190, 353 - 354

HILL, C. R. (1965)

Polonium-210 in man

Nature 208, 423 - 428

HIRSCHLER, D. A., GILBERT, L. F., LAMB, F. W. and
NIEBYLSKI, L. M. (1957)

Particulate lead compounds in automobile exhaust gas
Ind. Eng. Chem. 49, 1131 - 1142

HIRSCHLER, D. A. and GILBERT, L. F. (1964)

Nature of lead in automobile exhaust gas

Arch. Environ. Hlth. 8, 297 - 313

HÖLL, W. und HAMPP, R. (1975)

Einfluß von Blei auf die Biosphäre - ein aktuelles
Umweltproblem

Univ. 20 (9), 979 - 983

HOLTZMAN, R. B. (1960)

Some determinations of the RaD and RaF concentrations
in human bone

ANL-6199 (1960) 94-118

HOLTZMAN, R. B. (1963)

Measurement of the natural contents of RaD (Pb-210)
and RaF (Po-210) in human bone - estimates of whole-body
burdens

Health Phys. 9, 385 - 400

HOLTZMAN, R. B. (1966)

Natural levels of Lead-210, Polonium-210 and Radium-226
in human and biota of the arctic

Nature 210, 1094 - 1097

HORAK, O. und HUBER, I. (1974)

Verunreinigung von Pflanzen und Böden durch Bleirück-
stände aus Benzinmotoren

Die Bodenkultur 25 (1), 34 - 47

HORAK, O., REBLER, R. und SCHMIDT, J. (1976)

Bleirückstände in Pflanzen und Böden entlang österreichi-
scher Autostraßen

Die Bodenkultur 27 (4), 376 - 384

HUTCHINS, D. R. (1955)

Lead poisoning in cattle

Austr. Vet. J. 317 - 319

IOSIF, C. (1966)

L'intoxication aiguë et chronique par le plomb chez les
bovins

Rec. Méd. Vét. 142, 95 - 106

JAWOROWSKI, Z. (1963)

Correlation between the concentrations of lead-210
(Radium D) and Cesium-137 in glacier ice
Nukl. 8, 853 - 854

JAWOROWSKI, Z. (1964)

The evaluation of Radium D hazards in an uranium mine
Nukl. 2 (1), 57 - 66

JAWOROWSKI, Z. (1965)

Content of Radium D in human bones and hair
Nukl. 10 (5), 297 - 301

JAWOROWSKI, Z. (1966)

Temporal and geographical distribution of Radium D
(Lead-210)
Nature 212, 886 - 869

JAWOROWSKI, Z. (1967)

Stable and radioactive lead in environment and human
body
Rep. NEIC-RR-29

JAWOROWSKI, Z. (1969)

Radioactive lead in the environment and in the human
body
Atomic Energy Review 7 (1), 3 - 45

JACOBI, W. (1962)

Die natürliche Radioaktivität der Atmosphäre und ihre
Bedeutung für die Strahlenbelastung des Menschen
Rep. HMJ 21 Berlin-Wannsee

KAURANEN, P. and MIETTINEN, J. K. (1967)

Po-210 and Pb-210 in environmental samples in Finland
Eds.: Aberg, B. and Hungate, F. P.
Radioecological concentration process
Pergamon Press Oxford 275 - 280

KAURANEN, P. and MIETTINEN, J. K. (1969)

Po-210 and Pb-210 in the arctic food chain and the
natural radiation exposure of lapps
Health Phys. 16, 287 - 295

KAURANEN, P., MIETTINEN, J. K. and PULLIAINEN, E. (1971)

Polonium-210 and lead-210 in some terrestrial animals
in Finland
Ann. Zool. Fennici 8, 318 - 323

KERIN, D. und KERIN, Z. (1971)

Bleikontamination von Milch und Honig durch Bleiaerosole
der Industrie
Protectio vitae 16 (2), 61 - 62

KEHOE, R. A. (1961)

The harben Lectures 1960
The metabolism of lead in man in health and disease
Lecture No. 1: The normal metabolism of lead
J. R. I. P. H. 24, 81 - 97

KHANDEKAR, R. N. and ANAND, S. J. S. (1971)

Measurement of the lead-210 (Rad) in the human bone at
Bombay, India
Health Phys. 20, 83 - 85

KLOKE, A., RIEBARTSCH, K. und LEH, H. O. (1966)

Verunreinigungen von Kulturpflanzen mit Blei aus
Kraftfahrzeugabgasen
Landw. Forsch., Sonderheft 20, 119 - 123

KLOKE, A. (1973)

Schwermetalle in Nahrungs- und Futterpflanzen
Deutsch. Lebensm. Rdsch. 69 (1), 45 - 49

ROLB, E. und GÜRTLER, H. (1971)

Ernährungsphysiologie der landwirtschaftlichen Nutztiere
VEB Fischer Verlag, Jena

KOPP, Ch. und KUMMERER, B. (1974 a)

Blei in Pflanzen und Tieren, 3. Mitteilung
Der Bleigehalt in Beckenknochen von Rindern am Hochrhein
(BRD und Schweiz)
Tierärztl. Umsch. 29, 381 - 384

KOPP, Ch. (1974 b)

Blei in Pflanzen und Tieren, 4. Mitteilung
Der Bleigehalt von Futterpflanzen und Blättern entlang
der Autobahn
Tierärztl. Umsch. 29, 496 - 501

KOPP, Ch. (1974 c)

Blei in Pflanzen und Tieren, 5. Mitteilung
Der Bleigehalt von Futterpflanzen und Blättern entlang
wenig befahrener Straßen
Tierärztl. Umsch. 29, 565 - 569

LADINSKAYA, L. A., PARFENOV, Y. D., POPOV, D. K. and
FEDEROVA, A. V. (1973)

Pb-210 and Po-210 content in air, water, foodstuffs
and in the human body
Arch. Environ. Hlth. 27, 254 - 258

LEH, H. O. (1966)

Verunreinigungen von Kulturpflanzen mit Blei aus Kraft-
fahrzeugabgasen
Verbraucherdienst Ausg. Bd. 11, 53 - 57

LEH, H. O. (1972)

Verunreinigung von Pflanzen durch Blei aus Kraftfahrzeugabgasen; Blei und Umwelt, Kommission für Umweltgefahren des Bundesgesundheitsamtes, Arbeitsgruppe Blei
38 - 48

LEINERT, G. (1968)

Der Blutbleispiegel und seine Bedeutung für die Pathogenese und Prävention der beruflich bedingten Bleivergiftung
Erlangen-Nürnberg, Habil.-Schr.
A.W. Gentner-Verlag, Stuttgart

LIEGEOIS, F., DERIVAUX, J. et DEPELCHIN, A. (1961)

L'intoxication saturnine chez des animaux
Ann. Méd. Vét. 2, 57 - 81

LLOYD, R. D., MAYS, C. W., ATHERTON, D. R. and
BRUENGER, F. W. (1975)

Pb-210 studies in Beagles
Health Phys. 28, 575 - 583

LUCAS, H. F. and DI FERRANTE, E. R. (1966)

The Ra-226, Po-210 and Th-228 in bovine bone and teeth
Radiat. Res. 27, 718 - 726

MALONE, C., KOEPPE, D. E., and MILLER, R. J. (1974)

Localization of lead accumulated by corn plants
Plant Physiol. 53, 388 - 394

MARTEN, G. C. and HAMMOND, P. B. (1966)

Lead uptake by brome grass from contaminated soils
Agron. J. 58, 553 - 554

MATTSSON, L. J. S. and PERSSON, R. B. R. (1972)

Radioecology of Na-22, Po-210 and Pb-210 in the unique
foodchain: Lichen-Reindeer-Man
Rep. EUR-4800 1+2, 1135 - 1151

MEREDITH, P. A., MOORE, M. R. and GOLDBERG, A. (1975)

Depression in oral lead absorption by calcium salts
Scot. Med. J. 20 (1), 41

MICHELE, R. L. and REITH, J. W. S. (1966)

The lead content of pasture herbage
J. Sci. Fd. Agric. 17, 437 - 440

MOESCHLIN, S. (1972)

Klinik und Therapie der Vergiftungen
Thieme Verlag, Stuttgart 36 - 54

NEU, H. (1975)

Brabanter Kolonisten in der Voreifel
Jahrbuch des Kreises Euskirchen 88 - 102

N. N. (1959)

Report of Committee II on permissible dose for Internal
Radiation (1959)
Pergamon Press, JCRP, Publication II 1963

N. N. (1960)

Radiological Health Handbook
U. S. Department of Health, Education and Welfare
Division of Radiological Health, Washington 25,
D. C. Sept. 1960

N. N. (1960)

Documenta Geigy

Wissenschaftl. Tabellen, 6. Aufl. 221

N. N. (1964)

Handbuch der Standardverfahren des Health and Safety
Laboratory (HASL) Juli 1964

N. N. (1971)

Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft

19. Jahrg. Nr. C 34/4 vom 14. 4. 1971

N. N. (1972)

Grundlagen zur Futterberechnung für Milchkühe, Zucht-
und Mastrinder

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirt-
schaft und Forsten

Bayerische Landesanstalt für Tierzucht, Grub

N. N. (1976)

EGBl. I. Nr. 70, S. 1497 vom 22. 6. 1976

OELSCHLÄGER, W., HUSS, W. und BESTENLEHNER, L. (1974)

Untersuchungen über Bleigehalte in Futtermitteln

Landw. Forsch. 27 (3/4), 272 - 280

OSWEILER, G. D., BUCK, W. M. B. and LLOYD, W. E. (1973)

Epidemiology of lead poisoning in cattle - A five-year
study in Iowa

Clin. Tox. 6 (3), 367 - 376

PATTERSON, C. C. (1965)

Contaminated and natural lead environments of man
Arch. Environ. Hlth. 11, 344 - 353

PERROW, H. G. and COVER, A. (1965)

Direct radiochemical determination of lead-210 in bone
Anal. Chem 37, 1659 - 1060

PRIGGE, E. (1971)

Versuche zur Frühdiagnose der Bleivergiftung bei Schafen
Hannover, Tierärztl. Hochschule, Diss.

RANKANA, K. (1956)

Isotope Geology
2. Aufl., London, Pergamon Press LTD 369 - 401

REMY, R. (1956)

Tierexperimentelle Untersuchungen zur Bleivergiftung
DTW 63 (37/38), 385 - 388 u. 405 - 409

RIECKEN, E. O. (1963)

Histochemische Untersuchungen zum Schwermetallnachweis
im menschlichen Knochen
Histochemie 3, 307 - 314

ROENNELE, O. (1950)

Das Problem der Bleivergiftung bei Mensch und Tier
Tierärztl. Umsch. 5 (7/8), 109 - 114

ROSENBERGER, G. (1970)

Die Krankheiten des Rindes
Bleivergiftung (Saturnismus) 1134 - 1138
Paul Paray-Verlag Berlin, Hamburg

RÜSSEL, H. (1967)

Speicherung und Bindungsarten des Bleis in der Leber
bei Vergiftungen
Hannover, Tierärztl. Hochschule, Habil.-Schr.

SCHENKEL, R. (1964)

Über den Bleiurnsatz im Skelett
München, Tierärztl. Fakultät der Ludwig-Maximilians-
Universität, Diss.

SCHMIDT, D. und STICH, W. (1973)

Diagnostische Kriterien erhöhter Bleiaufnahme
Münch. med. Ws. 115 (4), 103 - 108

SCHMIDT, W. DIETL, F. und SANSONI, B. (1975)

Untersuchungen der Luft auf Schwebstoffe, Blei, Cadmium,
Zink und andere Metallsuren
I.: Bestimmung von Blei, Cadmium, Eisen, Kalium, Kupfer,
Magnesium, Mangan, Natrium und Zink durch Flammen-
Atomabsorption
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH
München

SCHMITT, N., BROWN, G., DEVLIN, E. L., LARSEN, A. A.,
McCAUSLAND, E. D. and SAVILLE, J. N. (1971)

Lead poisoning in horses
Arch. Environ. Hith. 23, 185 - 195

SCHMITZ, H. (1975)

Chancen für die Blei-Zinkerzlagertätte von Mechernich/
Eifel
Bürgerbrief für die Stadt Mechernich 7, Nrn. 44, 45, 46,
47, 48, 50

SCHÖBERL, A. und RÜSSEL, H. (1971)

Eleivergiftungen bei Tieren und Bleigehalte in Futter- und Lebensmitteln

DTW 78 (12), 353 - 354

SCHÖN, L. (1968)

Untersuchungen über Mastleistung, Futterverwertung und Schlachtwert im Rahmen der Nachkommensprüfung beim Rind

Landwirtschaft-Angewandte Wissenschaften, Heft 133

SCHÖN, L. (1969)

Untersuchungen über die grobgewebliche Zusammensetzung von Schlachtrindern

Sonderdruck aus Bayerisches Landwirtsch. Jahrbuch 46 (7)
771 - 827

SEABORG, G. T., RAMEY, J. T., TAPE, G. F., NABRIT, S.M. and JOHNSTON, W. E. (1966)

Nuclear Clocks; Atomic Energ. Commission, Oak Ridge, Tennessee, p. 56, Nov. 1966

SEELMANN-EGGEBERT, W. und PFENNING, G. (1960)

Radionuklid-Tabellen

Herausgeber: Telefunken GmbH

SEIBEL, W., OCKER, H. D. und NIERLE, W. (1974)

Schwermetalle in Getreide und Getreideprodukten

Deutsch. Lebensm. Rdsch. 70 (9), 315 - 318

SEIFERT, P. (1951)

Bleivergiftung und Laboratoriumsbefunde

Zentralblatt für Arbeitsmedizin und Arbeitsschutz 1 (5),
99 - 102

SHELDON, J. B. and MITCHELL, H. H. (1941)

The effect of calcium and phosphorus on the metabolism of lead

Can. Jour. 21 (6), 541 - 552

SIEBER, E. (1936)

Histochemischer Bleinachweis im Knochen

Naunyn-Schmiedeberg's Arch. exp. Path. Pharm. 181, 273 - 280

SOBEL, A. E., GAWRON, O. and KRAMER, B. (1938)

Influence of Vitamin D in experimental lead poisoning

Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 38, 433 - 437

SOMMER, G., ROSOPULO, A. und KLEE, J. (1971)

Die Bleikontamination von Pflanzen und Böden durch Kraftfahrzeugabgase

Z. Pflanzenernähr. Bodenkde 130 (3), 193 - 204

STAHLHOFEN, W. (1964)

Der natürliche Gehalt des menschlichen Körpers an α -strahlenden Nukliden

Johann-Wolfgang-Goethe-Universität, Frankfurt am Main, Diss.

STICH, W. (1961)

δ -Aminolävulinacidurie;

Ein neues biochemisches und diagnostisches Kriterium der Bleivergiftung

Klin. Wschr. 29 (7), 338 - 341

SUCHODOLLER, A. (1967)

Untersuchungen über den Bleigehalt von Pflanzen in der Nähe von Straßen und über die Aufnahme und Translokation von Blei durch die Pflanzen

Ber. Schweiz. bot. Ges. 77, 266 - 308

THIEMANN, K. G., STIRN, H., SCHWARZ, S., WILHELM, A.
und SCHWARZ, H. (1971)

Über das Vorkommen akuter Bleivergiftungen bei Rindern
Mh. Vet. Med. 26 (21), 811 - 813

TIMM, F. (1936)

Der histochemische Nachweis des "normalen" Bleis in
menschlichen Hartgeweben

Virchow's Arch. path. Anat. 297, 502 - 507

VESELSKY, J. (1974)

An improved method for the determination of the ratio
U-234/U-238 in natural waters

Radiochimica Acta 21, 151 - 154

VETTER, H. und MÄHLHOP, R. (1971)

Untersuchungen über Blei-, Zink- und Fluor-Immissionen
und dadurch verursachte Schäden an Pflanzen und Tieren

Landw. Forsch. 24 (3/4), 294 - 315

VETTER, H., MÄHLHOP, R. und FRÜCHTENICHT, K. (1974)

Immissionsstoffbelastung in der Nachbarschaft einer
Blei- und Zinkhütte

Ber. Landw. 52 (2), 327 - 350 (Sonderdruck)

WEINIG, E. und BÖRNER, B. (1961)

Über den normalen Bleigehalt der menschlichen Knochen

Arch. Tox. 12, 34 - 48

WIEDICKE, G. (1974)

Feldstudie über die Bleibelastung von Rindern und Pferden
Hannover, Tierärztl. Hochschule, Diss.

STROGOPOW, A. P. (1954)

Geochemie seltener und nur in Spuren vorhandener chemischer
Elemente im Boden
Akademie Verlag, Berlin

ZUBLER, R., BOVAY, E., TSCHANNEN, W. (1971)

Das Blei aus Motorfahrzeugabgasen . Seine Akkumulation
auf Pflanzen und die damit verbundenen Gefahren
Schweiz. Landw. Nh 49, 249 - 261

ZUBLER, R. (1972)

Die Bestimmung des Bleis in pflanzlichem Material mit
Hilfe des Atomabsorptionsspektrophotometers
Mitt. Gebiete Lebensmittelunters. Hyg. 63, 229 - 239

8. ABKÜRZUNGEN

a	Jahr
AAS	Atomabsorptionsspektrometrie
δ -ALA	delta-Aminolävulinsäure
d	Tag
Fg	Frischgewicht
g	Gramm
h	Stunde
kg	Kilogramm
KGW	Kilogramm-Körpergewicht
min	Minute
ml	Milliliter (10^{-3} l)
mg	Milligramm (10^{-3} g)
n	Anzahl
pCi	Picocurie (10^{-12} Ci)
ppm	parts per million (mg/kg bzw. mg/l)
s	Standardabweichung
sec	Sekunde
$T_{\frac{1}{2}}$	Halbwertszeit
TS	Trockensubstanz
$\bar{x}$	Mittelwert (arithmetrisch)
$x_{\max}$	Maximalwert
$x_{\min}$	Minimalwert

9. LEBENS LAUF

Am 16. August 1950 wurde ich, Bertram Glabasnia, als Sohn des Dr. med. Günter Glabasnia und seiner Ehefrau Dr. Ingeborg Glabasnia, geb. Foerster, in Neustadt am Kulm (Oberpfalz) geboren.

Von 1956 bis 1961 besuchte ich die Volksschule in Bamberg, 1970 legte ich die Reifeprüfung am Dientzenhofer-Gymnasium in Bamberg ab.

Im Wintersemester 1971/72 begann ich mit dem Studium der Tiermedizin an der Tierärztlichen Hochschule Hannover. Nach dem Physikum immatrikulierte ich mich an der Tierärztlichen Fakultät München, wo ich im November 1975 das Staatsexamen ablegte.

Die vorliegende Arbeit habe ich in der Zeit von Februar 1976 bis September 1977 angefertigt; die experimentellen Untersuchungen wurden vorwiegend am Institut für Chemie und Physik der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, durchgeführt.

Für die Überlassung des Dissertationsthemas und das stetige Interesse an dieser Arbeit möchte ich Herrn Prof. Dr. W. Kreuzer danken.

Ferner danke ich Herrn Dr. A. Mirna und Herrn Dr. H. Hecht von der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, für die wertvollen Anregungen für die Durchführung der Untersuchungen und bei der Abfassung der Arbeit.

